

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
CAMPUS DE SOROCABA  
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

FÁBIO SOUZA ARANHA

**USO DA TERRA, DESMATAMENTO E MEIO AMBIENTE: UM ESTUDO PARA A  
AMAZÔNIA LEGAL**

Sorocaba  
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA  
CAMPUS DE SOROCABA  
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

FÁBIO SOUZA ARANHA

**USO DA TERRA, DESMATAMENTO E MEIO AMBIENTE: UM ESTUDO PARA A  
AMAZÔNIA LEGAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia  
Universidade Federal de São Carlos, *campus*  
Sorocaba, para obtenção do título de bacharel  
em Ciências Econômicas.

Orientação: Prof. Dr. Cassiano Bragagnolo

Sorocaba  
2017

Aranha, Fábio Souza

Uso da Terra, Desmatamento e Meio Ambiente: Um Estudo para a Amazônia Legal / Fábio Souza Aranha. -- 2017.

85 f. : 30 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação)-Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador: Cassiano Bragagnolo

Banca examinadora: Gustavo Carvalho Moreira, Eduardo Rodrigues de Castro

Bibliografia

1. Desmatamento. 2. Floresta Amazônica. 3. Produtividade Agrícola. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**FABIO SOUZA ARANHA**

*"USO DA TERRA, DESMATAMENTO E MEIO AMBIENTE: UM ESTUDO  
PARA A AMAZÔNIA LEGAL"*

MONOGRAFIA

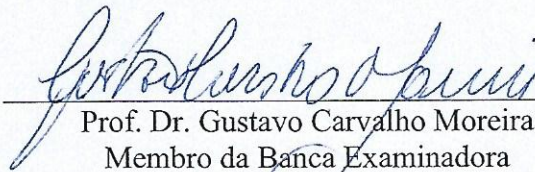
Universidade Federal de São Carlos – Campus Sorocaba

Sorocaba, 4 de dezembro de 2017.



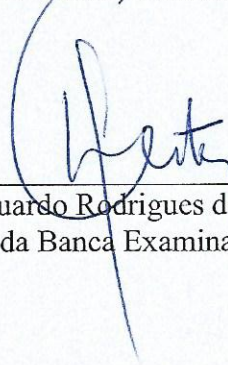
---

Prof. Dr. Cassiano Bragagnolo  
Orientador(a)



---

Prof. Dr. Gustavo Carvalho Moreira  
Membro da Banca Examinadora



---

Prof. Dr. Eduardo Rodrigues de Castro  
Membro da Banca Examinadora

*Ao meu avô, cuja determinação e fé o permitiram ter uma vida digna, mesmo diante de todas as dificuldades.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus.

Agradeço aos meus familiares, cujo apoio fora imprescindível durante a graduação. Em especial, a minha mãe, pelo apoio e compreensão nos momentos difíceis, e ao meu pai, cuja determinação e “vontade de vencer” sempre me servira como exemplo. Não tenho palavras para expressar o orgulho que tenho ao chamá-los de “meus pais”. Também agradeço ao meu irmão, principalmente pela amizade que desenvolvemos nos últimos anos.

Agradeço a todos os professores da Graduação em Ciências Econômicas da UFSCar *campus* Sorocaba. Em especial, aos professores: Maria Aparecida Silva Oliveira, Adelson Martins Figueiredo e Rosane Nunes de Faria. A orientação desses, em períodos diferentes, fora imprescindível no meu amadurecimento.

Ainda agradeço ao Prof. Dr<sup>o</sup>. Cassiano Bragagnolo, cuja orientação fora imprescindível na realização desse trabalho. Seus conselhos sobre a vida foram extremamente importantes na decisão do caminho a ser trilhado pós a graduação.

Agradeço aos colegas de graduação da turma de economia de 2013. Especialmente ao Murilo e Henrique, pelos conselhos, amizade e paciência nos momentos difíceis. Ainda agradeço a Wesley (*Jamal*) e Damaris pelo conselhos. Também agradeço a Caiane pela amizade a partir da segunda metade do curso.

Por fim, agradeço à: Wesley (*Pimpão*), Mario (*Bizão*), Silvia, Guilherme (*Queixo*), Eduardo Chamiço, Carlos Eduardo (*Inox*), Carlos Rufini (*Porpeta*) Rafael Sobieski, João Guilherme (*Tio Chico*). Por tornar a minha graduação mais feliz. Sem a companhia de vocês nas festas e as esporádicas visitas ao bar “Fazendinha” (vulgarmente conhecido como “*Risca faca*”) não haveriam tantas boas memórias sobre a graduação.

Por fim, mas não menos importante, agradeço ao Diogo pela amizade de longa data e conselhos.

## RESUMO

ARANHA, Fábio. *Uso da Terra, Desmatamento e Meio Ambiente: Um Estudo para a Amazônia Legal*. 2017. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) – Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2017.

A região norte do Brasil abriga a última floresta de dimensões continentais do planeta. A preservação da sua flora e fauna influi diretamente no legado da atual geração para as futuras. Embora a atuação de diversos órgãos governamentais, ONG's e instituições internacionais versem sobre a manutenção desse bioma, a continuidade do processo de desmatamento compromete diretamente a sobrevivência da Floresta Amazônica. As atividades ligadas: a pecuária, agricultura e extração são os principais responsáveis pela retirada da vegetação nativa. Compreender a magnitude dos impulsos econômicos sobre essas atividades, bem como o seu *modus operandi*, faz-se mister na formação de políticas públicas para a preservação da Amazônia. Esse trabalho procura inserir-se na literatura ao investigar como esses condicionantes se alteram a medida que a produtividade e o produto se elevam, uma vez que pela teoria tradicional existiriam pontos de inflexão sobre esses parâmetros. Modelos em dados em painel com efeito de variável limiar são empregados para atingir os objetivos principais.

Palavras-chave: Desmatamento. Floresta Amazônica. Produtividade Agrícola. Políticas de Conservação.

## **ABSTRACT**

The northern region of Brazil is the home of the last continental's forest of the planet. The preservation of its flora and fauna influences the legacy of the present generation for the future ones. Although the work of governmental agencies, NGOs and international institutions is concerned with the maintenance of this biome, the continuity of the deforestation compromises the future of the Amazon Forest. The crop and cattle activities are the main responsible for the removal of native vegetation. Understand the magnitude of the economic impulses on these activities is necessary for the formulation of environmental policy. This work investigate how these conditions change as productivity and income increase, since by traditional theory there would be a turning points for these parameters. Models in panel data and with a threshold variable were used to achieve the main objectives.

**Keywords:** Deforestation. Amazon Forest. Agricultural Productivity. Conservation Policies.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Limites dos Biomas Brasileiros. ....	14
<b>Figura 2</b> - Biomas e Estados pertencentes à Amazônia Legal.....	15
<b>Figura 3</b> - Desmatamento Anual na Amazônia Legal de 2002 a 2016 (em km <sup>2</sup> ).....	48
<b>Figura 4</b> - Participação Estadual no Total do Desmatamento Anual da Amazônia Legal de 2002 a 2016 (em %). ....	51
<b>Figura 5</b> - Evolução do Preço do boi 15/Kg e do Desmatamento Anual na Amazônia Legal de 2005 a 2014. ....	52
<b>Figura 6</b> - Evolução do Preço da soja por saca de 60/Kg e do Desmatamento Anual na Amazônia Legal de 2005 a 2014. ....	53
<b>Figura 7</b> - Evolução do Rebanho Bovino e do Desmatamento Anual na Amazônia Legal de 2005 a 2014. ....	54
<b>Figura 8</b> - Evolução da Área Plantada, Área Plantada de Soja, Quantidade produzida de Soja e Desmatamento Anual na Amazônia Legal de 2005 a 2014.....	54
<b>Figura 9</b> - Evolução do Crédito Agrícola Estadual (à preços de 2014 e em milhões de R\$) e Desmatamento Anual na Amazônia Legal, de 2005 a 2014.....	55
<b>Figura 10</b> - Evolução do Crédito Pecuário Estadual (à preços de 2014 e em milhões de R\$) e Desmatamento Anual na Amazônia Legal, de 2005 a 2014.....	55
<b>Figura 11</b> - Evolução do PIB <i>per capita</i> Estadual (à preços de 2014 e em milhares de R\$) e Desmatamento Anual na Amazônia Legal, de 2005 a 2014.....	56
<b>Figura 12</b> - Evolução do Valor Bruto da Produção Agrícola por km <sup>2</sup> de Área Plantada Estadual (à preços de 2014 e em milhões de R\$) e Desmatamento Anual na Amazônia Legal, de 2005 a 2014. ....	57
<b>Figura 13</b> - I de Moran Local para o desmatamento anual nos anos de 2005, 2006, 2008, 2009 2012 e 2014. ....	59
<b>Figura 14</b> – Classificação dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com os regimes da equação (22) e PIB <i>per capita</i> como Variável de Limiar em 2006 e 2008. ....	71
<b>Figura 15</b> - Classificação dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com os regimes da equação (23) e PIB <i>per capita</i> como Variável de Limiar em 2006 e 2008. ....	71
<b>Figura 16</b> - Classificação dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com os regimes da equação (22) e PIB <i>per capita</i> como Variável de Limiar em 2009 e 2014. ....	72
<b>Figura 17</b> - Classificação dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com os regimes da equação (23) e PIB <i>per capita</i> como Variável de Limiar em 2009 e 2014. ....	72
<b>Figura 18</b> - Classificação dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com os regimes da equação (22) e Valor Bruto da Produção/Área Plantada de Culturas Temporárias e Permanentes como Variável de Limiar em 2006 e 2008. ....	74
<b>Figura 19</b> - Classificação dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com os regimes da equação (23) e Valor Bruto da Produção/Área Plantada de Culturas Temporárias e Permanentes como Variável de Limiar em 2006 e 2008. ....	74
<b>Figura 20</b> - Classificação dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com os regimes da equação (22) e Valor Bruto da Produção/Área Plantada de Culturas Temporárias e Permanentes como Variável de Limiar em 2009 e 2014. ....	75
<b>Figura 21</b> - Classificação dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com os regimes da equação (23) e Valor Bruto da Produção/Área Plantada de Culturas Temporárias e Permanentes como Variável de Limiar em 2009 e 2014. ....	75

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Desmatamento Anual dos Estados da Amazônia Legal de 2002 a 2016 (em km <sup>2</sup> ). .....	49
<b>Tabela 2</b> - Variação do Desmatamento na Amazônia Legal em Relação ao Ano anterior de 2003 a 2016. (em %). .....	50
<b>Tabela 3</b> – Estatísticas I de Moran Global para o Desmatamento, Densidade do Rebanho e Participação Agrícola. ....	59
<b>Tabela 4</b> - Teste de Chow para a Quebra Estrutural da relação entre Desmatamento e Variáveis Econômicas das Culturas na Amazônia Legal. ....	61
<b>Tabela 5</b> - Testes F para existência de efeitos da Variável de Limiar PIB <i>per capita</i> nas equações do desmatamento. ....	62
<b>Tabela 6</b> - Testes F para existência de efeitos da Variável de Limiar Produtividade Agrícola nas equações do desmatamento. ....	63
<b>Tabela 7</b> - Valores Limiars da Variável PIB <i>per capita</i> . (em logaritmo neperiano). ....	63
<b>Tabela 8</b> - Valores Limiars da Variável Produtividade Agrícola (em logaritmo neperiano). ....	64
<b>Tabela 9</b> - Estimação da Função do Desmatamento com Variável de Limiar PIB <i>per capita</i> para 2006 a 2008 (Erros Padrões Robustos com clusters).....	64
<b>Tabela 10</b> - Estimação da Função do Desmatamento com Variável de Limiar PIB <i>per capita</i> para 2009 a 2014 (Erros Padrões Robustos com clusters).....	66
<b>Tabela 11</b> - Estimação da Função do Desmatamento com Variável de Limiar Produtividade Agrícola para 2006 a 2008 (Erros Padrões Robustos com clusters).....	68
<b>Tabela 12</b> - Estimação da Função do Desmatamento com Variável de Limiar Produtividade Agrícola para 2009 a 2014 (Erros Padrões Robustos com clusters).....	69
<b>Tabela 13</b> – Municípios da Amazônia Legal Classificados em Regimes de acordo com a Variável de Limiar PIB <i>per capita</i> . ....	70
<b>Tabela 14</b> - Municípios da Amazônia Legal Classificados em Regimes de acordo com a Variável de Limiar Valor Bruto da Produção/Área Plantada de Culturas Temporárias e Permanentes.....	73

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC Acre  
AM Amazonas  
AP Amapá  
BNDES Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social  
CEMAM Centro de Monitoramento Ambiental  
CKA Curva de Kuznets Ambiental  
CO2 Dióxido de Carbono  
COFA Comitê Orientador do Fundo Amazônia  
DETER Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real  
IBAMA Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis  
IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
IPEA Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada  
MA Maranhão  
MDCR Matriz de Dados do Crédito Rural  
MMA Ministério do Meio Ambiente  
MT Mato Grosso  
ONGs Organizações Não Governamentais  
PA Pará  
PAS Plano Amazônia Sustentável.  
PIB Produto Interno Bruto  
PPCDAm Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal  
PRODES Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal  
PTR Panel Threshold Regression  
RO Rondônia  
ROC Radiação de Onda Curta  
ROL Radiação de Onda Longa  
RR Roraima  
TAC Termos de Ajustamento de Conduta  
TO Tocantins

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2.REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
2.1.USO DO SOLO NA AMAZÔNIA E DESMATAMENTO .....	14
2.2.DESMATAMENTO E USO DO SOLO NA FLORESTA AMAZÔNICA EM PERÍODOS RECENTES .....	18
2.3.DESMATAMENTO, MEIO AMBIENTE E FLORESTA AMAZÔNICA.....	24
2.4.ECONOMIA E MEIO AMBIENTE À LUZ DA CURVA AMBIENTAL DE KUZNETS.	25
2.5.INSTITUIÇÕES E DESMATAMENTO .....	26
<b>3.METODOLOGIA E BASE DE DADOS</b> .....	33
3.1.METODOLOGIA.....	33
3.1.1. <b>Panel Threshold Regression (PTR)</b> .....	36
3.1.2. <b>Teste de Linearidade</b> .....	37
3.1.3. <b>Modelos com Múltiplos Limiares</b> .....	38
3.1.4. <b>Teste de Chow</b> .....	39
3.1.5. <b>Autocorrelação Espacial</b> .....	40
3.2.REFERENCIAL TEÓRICO .....	41
3.2.1. <b>Equilíbrio do Produtor</b> .....	41
3.3.BASE DE DADOS E ESTRATÉGIA DE ESTIMAÇÃO .....	43
3.3.1. <b>Estratégia de Estimação</b> .....	43
3.3.2. <b>Fonte de Dados</b> .....	46
<b>4.RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	48
4.1.EVOLUÇÃO DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL DE 2002 A 2016 .....	48
4.2.ANÁLISE ESPACIAL DO DESMATAMENTO.....	58
4.3.QUEBRAS ESTRUTURAIS NA SÉRIE DO DESMATAMENTO .....	60
4.4.TESTE DE LINEARIDADE COM VARIÁVEL LIMIAR .....	62
4.5.LIMIARES E ESTIMAÇÃO DAS FUNÇÕES DO DESMATAMENTO .....	63
4.6.CLASSIFICAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DE ACORDO COM OS REGIMES .....	70
<b>5.CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	77
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	79

## 1 INTRODUÇÃO

A Floresta Amazônica corresponde por 40% do território das florestas úmidas remanescentes no planeta (ANDERSEN *et al.*, 2002), caracterizando-se como a última floresta de dimensões continentais do planeta (ROSS, 2006). Seu vasto território abrange 9 nações, embora grande parte esteja localizada no Brasil.

Ao longo do tempo, seu desenvolvimento fora condicionado a diferentes forças de mercado e motivações do estado brasileiro. Em períodos iniciais, a produção de borracha guiou o crescimento da região. No período do regime militar, de 1964 a 1985, a estratégia empregada visava a integração produtiva do bioma ao resto do Brasil, focado principalmente na produção pecuária, extrativa e agrícola. Pós 1986, os estímulos de mercado passaram a ditar os rumos desse bioma (PRATES; BACHA, 2011).

Os principais produtos agrícolas cultivados na região são: soja, milho, arroz, feijão, algodão em caroço, banana, mandioca (HOMMA, 2013). A pecuária bovina e o setor extrativista também são importantes culturas do bioma (HOMMA, 2013; VALENTE, 2012). No contexto geral as atividades econômicas empregadas na Amazônia detêm caráter extensivo (MARGULIS, 2003). A troca de vegetação por pastagens, plantações ou áreas urbanas persiste desde a origem de seu desenvolvimento.

Desde 2005, a taxa anual de desmatamento encontra-se em patamares inferiores ao registrado em décadas anteriores (FERREIRA; COELHO, 2015). Entretanto, os impactos ambientais desse fenômeno não se restringem apenas à conversão de florestas. As mudanças de uso do solo impactam diretamente o efeito estufa, uma vez que esse processo emite três dos principais gases causadores do fenômeno (FEARNSIDE, 2007). Ademais, o desmatamento já demonstrou responder a mudanças nos estímulos econômicos (FEARNSIDE, 2005).

Logo, à compreensão da dinâmica do desmatamento passa pelo estudo da dinâmica das variáveis econômicas referentes as principais atividades produtivas da região. Autores como Diniz *et al.* (2009), Riveiro *et al.* (2009), Oliveira *et al.* (2011), Silva (2009) e Ferreira e Coelho (2015) o fizeram através de regressões em dados em painel. Embora cada trabalho detenha particularidades quanto a estimação dos modelos, em todos, os parâmetros relativos ao efeito das variáveis sobre o desmatamento foram fixos. Nesse quesito, esse trabalho inova ao considerar coeficientes diferentes conforme níveis de uma variável observada, exógena ao modelo, conhecida como variável de limiar. Com isso, compreender-se-á a dinâmica da variável

de limiar sobre a relação entre os estímulos econômicos à produção e desmatamento ao longo do tempo, além da dinâmica de cada indivíduo pertencente a amostra.

Para tanto, pretende-se estimar modelos em dados em painel com efeito de limiar (Panel Threshold Regression), desenvolvido por Hansen (1999). A amostra adotada compreenderá dados anuais dos municípios da Amazônia legal, para o período de 2006 a 2014. Como variável de limiar, serão adotadas o produto municipal e um índice de produtividade. Assim, o objetivo principal desse trabalho versa sobre a compreensão sobre o uso do solo na Floresta Amazônica. Para tanto, investigar-se-á o comportamento do desmatamento a nível municipal, considerando os efeitos que a produtividade e o produto detêm sobre os impactos das atividades econômicas no desmatamento.

Esse objetivo traduz-se nos seguintes objetivos específicos:

- Analisar o comportamento do desmatamento, dos preços da soja e boi, tamanho do rebanho, quantidade produzida de soja, crédito agrícola e pecuário, PIB per capita municipal e valor bruto da produção, ao longo de 2002 a 2014;
- Analisar o comportamento espacial do desmatamento, densidade do rebanho e da quantidade de soja através das estatísticas de correlação espacial;
- Verificar a existência de não linearidades entre o desmatamento e: o preço da soja e boi, área destinada ao cultivo da soja, tamanho do rebanho, crédito agrícola e pecuário, dado o comportamento do produto municipal e produtividade.
- Estimar as equações tendo o produto municipal e a produtividade como variáveis de limiar. Em ambos os casos o desmatamento é tomado como variável dependente e: o preço da soja e boi, área destinada ao cultivo da soja, tamanho do rebanho, crédito agrícola e pecuário, como variáveis independentes.
- Analisar as diferenças dos parâmetros de cada regime, através dos preceitos da teoria econômica.

As principais hipóteses adotadas nesse trabalho versam sobre a modificação dos coeficientes dado os valores das variáveis de limiar. Espera-se que, assim como previsto pela Curva de Kuznets Ambiental, a existência de pontos de inflexão entre a degradação ambiental e o crescimento do produto per capita seja expressa nos parâmetros da relação entre o desmatamento e as atividades econômicas. Assim, os pontos de inflexão da renda também denotariam a inflexão dos parâmetros das atividades produtivas da função do desmatamento. Logo, no caso da CKA para a Amazônia seguir o tradicional “U” invertido encontrado em grande parte dos demais trabalhos empíricos da literatura, os coeficientes das atividades

produtivas deveriam ser favoráveis a induzir menores níveis de desmatamento pós ponto de inflexão da renda.

Além dessa introdução, esse trabalho está organizado em mais 4 seções. A segunda seção versa sobre a revisão de literatura, que abrange a história da Floresta Amazônica bem como os principais trabalhos que adotaram metodologias semelhantes a desse trabalho e as mudanças institucionais ocorridas entre 2004 e 2014. A terceira seção versa sobre a metodologia utilizada, bem como seus aspectos teóricos e fonte de dados. A quarta seção descreve os resultados da estimação dos modelos, além de descrever o comportamento das variáveis no período e a classificação dos municípios quanto aos regimes. Por fim, a quinta seção apresenta as considerações finais.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 USO DO SOLO NA AMAZÔNIA E DESMATAMENTO

O Brasil, no contexto geral, caracteriza-se pela grande diversidade em sua flora e fauna. Sua extensa dimensão territorial comporta milhares de espécies de animais, plantas e demais seres vivos. A Figura 1 demonstra a disposição dos biomas ao longo de todo território brasileiro.

**Figura 1** – Limites dos Biomas Brasileiros.



Fonte: MCT (2010) *apud* SEEG(2015).

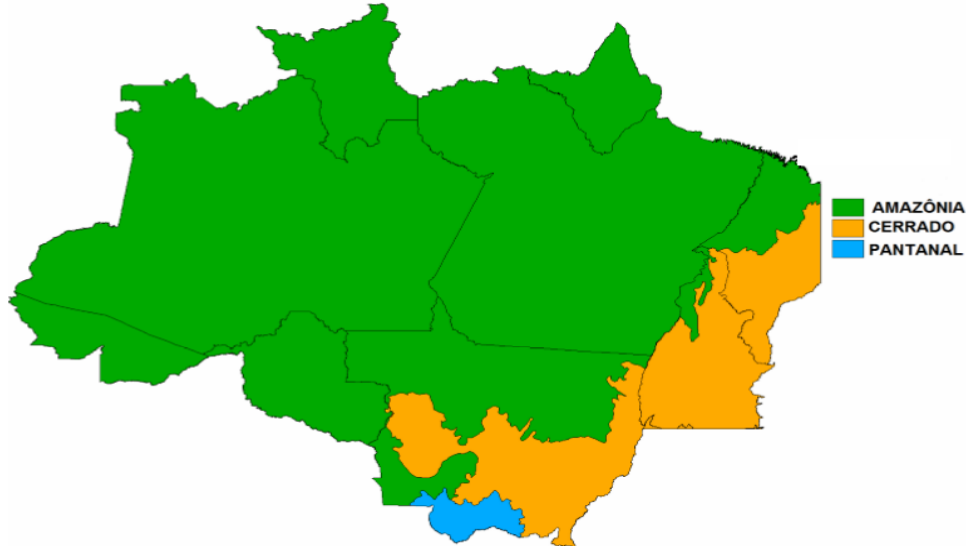
Segundo a Figura 1, o bioma Amazônia corresponde a 49% do território brasileiro. Além de sua extensão ocupar quase a metade do território nacional, esse detém uma importância singular em comparação aos demais. A Floresta Amazônica corresponde por 40% do território das florestas úmidas remanescentes no planeta terra (ANDERSEN *et al.*, 2002). Caracterizando-se como a última floresta de dimensões continentais do planeta (ROSS, 2006). Sua superfície é coberta por florestas densas e abertas, embora esse bioma ainda abrigue outros tipos de ecossistemas, como: florestas de igapó, campos alagados, campinaranas, várzeas, florestas estacionais, savanas (MMA, 2009). Seus solos, em termos gerais, apresentam acidez elevada, alta saturação por alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes (COELHO *et al.*, 2002). Historicamente, a temperatura região situa-se entre 22,7 °C e 27,6 °C (GAZONI, 2011).

Com a lei nº 1.806 de 6 de janeiro de 1953, definia-se no Brasil a Amazônia Legal (BRASIL, 1953). Seu território corresponde a 775 municípios, divididos entre os seguintes estados: Amazonas, Amapá, Pará, Acre, Rondônia, Roraima e Tocantins além de parte dos estados Mato Grosso e Maranhão (GAZONI, 2011). O recorte estabelecido na lei não restringia a Amazônia Legal apenas ao bioma Amazônia. Partes do cerrado e pantanal também adentraram



na área definida pela legislação (VALENTE, 2012). A Figura 2 demonstra a disposição da Amazônia Legal de acordo com seus biomas.

**Figura 2** - Biomas e Estados pertencentes à Amazônia Legal.



Fonte: IBGE (2004) *apud* Valente (2012)<sup>2</sup>.

Em termos gerais, Prates e Bacha (2011) definem que o começo do desenvolvimento na floresta Amazônica se deu via extração da borracha (final do século XIX e início do século XX). Nesse período, os choques de demanda provenientes da implantação do setor automobilístico na Europa e Estados Unidos culminaram na migração a regiões produtoras de látex. Embora a produção de borracha para exportação não seja intensiva em termos da mudança do uso do solo, o fluxo migratório, através da formação de centros urbanos e produção para a subsistência desses, culminou no desmatamento de algumas regiões. Obras de infraestrutura, como as ferrovias de Belém-Bragança, Madeira-Mamoré e Tucuruí corroboraram para o processo (PRATES; BACHA, 2011).

A concorrência com látex produzido nos países asiáticos levou, a partir da segunda metade do século XX, a crise no ciclo da Borracha. Apesar de ações governamentais, como a criação da Superintendência de Defesa da Borracha e a elaboração do Plano de Defesa da Borracha, fora apenas na Segunda Guerra Mundial, com a interrupção da produção na Malásia, que a produção do látex voltou a guiar o desenvolvimento da região (PRATES; BACHA, 2011). Nesse período, com o auxílio dos Estados Unidos, o governo de Getúlio Vargas realizou uma série de medidas para a retomada do crescimento da região. Dentre essas, foram criados o

<sup>2</sup> INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa dos biomas do Brasil:** primeira aproximação. 2004.

Serviço de Navegação da Amazônia e de Administração do Porto da Pará (Snapp), a Superintendência para o Abastecimento do Vale da Amazônia (Sava) e Banco de Crédito da Borracha. A região ainda apresentou uma explosão em termos demográficos durante a década de 50. A construção das Rodovias Belém-Brasília (BR-010) e Brasília-Acre (BR-29) culminaram no salto populacional de 4 milhões de habitantes no período. A formação de cidades em torno do eixo rodoviário aumentou a pressão sobre a floresta, devido as atividades agropecuárias (PRATES; BACHA, 2011). Logo, até a metade de década de 60, o desenvolvimento econômico da região esteve ligado a extração de látex e políticas públicas.

Com o advento do governo militar, em 1964, a lógica do desenvolvimento na Amazônia sofrera um revés. Em períodos anteriores as preocupações estavam centradas na exploração econômica no látex. Pós 1964, com o advento de uma série de decretos, firmou-se o compromisso de integração da floresta com o restante do Brasil. Walker *et al.* (2009) definem que essa iniciativa, que ficou conhecida como “Operação Amazônia”, constituía-se em investimentos de infraestrutura, acomodados em interesses geopolíticos e econômicos. Nesse quesito, cabe destacar a conversão do Banco de Crédito da Borracha em Banco da Amazônia (BASA), em que esse seria responsável por conceder benefícios fiscais e crédito as industriais e setor agropecuário da região (GAZONI, 2011). Segundo Homma (2003), os incentivos fiscais concedidos a pecuária, mesmo que essa fora introduzida na região no final da década de 50, foram o primeiro grande estímulo a produção em larga escala dessa atividade na Amazônia.

No decênio de 1970, assim como na década passada, a orientação das políticas de desenvolvimento da Amazônia empregadas visava a integração produtiva dessa região com o resto do país, de modo a aproveitar sua dotação de recursos naturais. Tal concepção culminou na criação do Programa de Integração Nacional (PIN), cujas motivações principais compreendiam a construção de estradas, concessão de crédito, incentivos fiscais e colonização da região (ALVES, 2016).

De 1971 a 1975, as principais estratégias situaram-se na colonização do território da Amazônia por pequenos agricultores. Tal estratégia se deu através de políticas previstas no 1º Plano Nacional de Desenvolvimento (1º PND), além da criação do Programa de Redistribuição de Terra e Estímulo à Agroindústria do Norte e Nordeste (Proterra) (ALVES, 2016). Cabe ainda citar a criação da Embrapa, órgão que revolucionou a pesquisa agrícola no Brasil e a instalação da primeira fábrica de motosserras no país, fato que permitiu o aumento de 700% na produtividade da derrubada da floresta (HOMMA, 2003).

Após o 1º choque do petróleo, a adoção do 2º PND deteve impactos diretos na estratégia de crescimento da Amazônia. O modelo de colonização fora substituído pelo agrário exportador, com ênfase na produção em larga escala da pecuária, mineração e madeira (ALVES, 2016). Com a criação do Polamazônia, pretendia-se organizar desenvolvimento da região via polos de produção especializada, com o foco no mercado externo (PRATES; BACHA, 2011).

Com o 2º choque do petróleo, em 1979, a necessidade da redução de despesas dado o quadro de crise fiscal e econômica resultou na retração de recursos a região amazônica, bem como sua concentração em áreas voltadas à exportação. Assim, a inversão de propósito na política de desenvolvimento da região deslocou seu foco a poucos setores, principalmente a aqueles ligados ao extrativismo mineral (ALVES, 2016; PRATES; BACHA, 2011).

Portanto, assim como descreve Margulis (2003), durante as décadas de 1970 e 1980, políticas públicas e impulsos econômicos provindos do Centro-Sul, dada a estratégia de desenvolvimento empregada na região, guiaram o processo de desmatamento, devido, principalmente, a ocupação demográfica e econômica.

Com o fim do regime militar e as pressões internacionais sobre as crescentes taxas de desmatamento registradas na Amazônia, em 1988 fora criado o Programa Nossa Natureza e no ano seguinte, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis (Ibama). Homma (2003) define que as medidas ambientais adotadas no período foram um divisor de águas para a conservação da Amazônia.

Fearnside (2005), descreve durante os anos de hiperinflação, o constante aumento do preço da terra induzia a especulação e ao aumento do desmatamento. Ainda segundo o autor, o momento macroeconômico fora o principal determinante para a queda no índice do desmatamento de 1987 a 1991. Após 1990, a estrutura de taxas de desmatamento menores que o seu valor histórico do seguiria até o final da década, embora em 1995 a série apresente um pico (explicado pela expansão do crédito e preço da terra). Ferreira e Coelho (2015) descrevem que a mudança no Código Florestal, que alterava a área da reserva legal da Floresta Amazônica de 50% para 80%, corroborou para que até 2002 esse comportamento fosse registrado. Assim, Fearnside (2005) descreve que o comportamento do desmatamento na década de 90 aponta para a associação desse a fatores macroeconômicos. Logo, nesse período, “...desmatamento é mais realizado por aqueles que investem em fazendas médias e grandes de criação de gado, que por pequenos fazendeiros que usam a força de trabalho familiar...” (FEARNSIDE, 2005, p. 115).

De 2002 a 2005, o aumento da demanda internacional por soja e carne bovina guiaram a taxa de desmatamento a patamares superiores aos registrados na década anterior. A partir de 2008, com a adesão de políticas mais consistentes, a resposta da taxa de desmatamento para essas medidas se deu via seu comportamento decrescente (FERREIRA; COELHO, 2015).

## 2.2 DESMATAMENTO E USO DO SOLO NA FLORESTA AMAZÔNICA EM PERÍODOS RECENTES

Prates e Bacha (2011) definem que pós 1986, o desenvolvimento da Amazônia fora definido pelos estímulos de mercado. Os autores pontuam que embora o estado detenha o controle do território, são os madeireiros, pecuaristas e agricultores (guiados principalmente pelo cultivo da soja) que determinam os rumos desse bioma. Diniz *et al.* (2009) pontua que com o final dos incentivos providos pelo governo federal, a manutenção da lucratividade da agropecuária se dá, principalmente, devido as condições ecológicas favoráveis, as pastagens e a disponibilidade de terra barata, associada ao caráter extensivo da atividade e seu baixo custo ao produtor.

De acordo com Valente (2012), os principais produtos agrícolas da região são: soja, milho, arroz, feijão, algodão em caroço, banana e a mandioca. Homma (2013) ainda destaca a pecuária bovina e o setor extrativista como principais atividades.

Com o avanço da fronteira agrícola em direção ao norte, partindo do Centro-Oeste, o plantio de soja ruma a Floresta Amazônica (FEARNSIDE, 2006). Corrobora para esse fato a adaptação das variedades de soja a qualidade do solo (FEARNSIDE, 2007). Embora o plantio de soja seja de natureza extensiva, seus impactos sobre o desmatamento são indiretos, dado que seu plantio se dá, principalmente, pela conversão de áreas de pastagem (BRANDÃO; REZENDE; MARQUES, 2005).

Segundo Valentim e Andrade (2009), entre 1975 e 2005, o tamanho dos rebanhos do Norte e Centro-Oeste cresceu 1.863 % e 189,5% respectivamente. Já a área total de pastagens aumentou 518% na região Norte e reduziu-se 7% na região Centro-Oeste. Em contraste, o resultado para a variação da área de pastagem para o Brasil fora de 4%. O índice de lotação das taxas de pastagem (rebanho/área de pastagem) calculado pelos autores demonstrou crescimento de 83% para o Brasil no período. Para Amazônia Legal o crescimento do índice fora de 203%. Desse resultado, apenas o Amazonas apresentou variação negativa no período de 1996 a 2006. Assim, os autores advogam que a adoção crescente de tecnologias na pecuária evitou que 213,1

milhões de hectares fossem incorporados na produção, sendo 147,5 milhões de hectares da Amazônia e Cerrado.

Assim, no contexto geral, as principais atividades primárias na Amazônia possuem caráter extensivo, de modo a induzirem ao desmatamento. Nesse sentido, Margulis (2003) destaca o papel da pecuária no desmatamento, de modo que essa seria o principal indutor do fenômeno. Segundo o autor, embora todos os agentes estejam de alguma forma ligados ao desmatamento, a responsabilidade recai sobre os médios e grandes, cujo grau de profissionalização os compele a constante expansão e busca de aumento da eficiência na produção. Aos pequenos, suas restrições os conferem o anseio por garantir a posse da terra, proteger-se da violência do campo e enfrentar as condições de monopólio da produção (MARGULIS, 2003).

A literatura acerca da relação entre o desmatamento e variáveis socioeconômicas compreende diversos trabalhos. Dentre eles, cabe citar: Diniz *et al.* (2009); Riveiro *et al.* (2009); Silva (2009); Oliveira *et al.* (2011); Hargrave e Kis-Katos (2011); Assunção *et al.* (2012); Assunção *et al.* (2013); Cisnero, Hargrave e Kis-Katos (2013); Ferreira e Coelho (2015); Bouchardet, Porsse e Timofeiczuk Júnior (2016); Tersitsch (2017). Todos estes correlacionaram o desmatamento com variáveis econômicas, sociais e agrícolas, por meio de diferentes aplicações de modelos com dados em painel.

Diniz *et al.* (2009) investigaram a relação entre variáveis socioeconômicas e agropecuárias com o desmatamento. Os autores utilizaram um modelo de dados em painel para os municípios que detêm parte da Amazônia Legal, no período de 1997 a 2006. Através do teste de causalidade de Granger, os autores observaram que há causalidade bidirecional entre o desmatamento e rebanho bovino, lavouras temporárias, lavouras permanentes, área do município ocupada com agropecuária, densidade populacional das cabeças de gado, crédito agrícola, densidade demográfica e nível de educação dos adultos do município. Os resultados ainda demonstraram que o produto *per capita* do município e sua população possuem causalidade unidirecional com o desmatamento.

Riveiro *et al.* (2009) ao investigar a relação entre o desmatamento e a pecuária na Amazônia, concluíram que esta atividade, de forma geral, apresenta o maior impacto econômico na região. Da mesma forma, essa também seria a maior causa do desmatamento. Ademais, os autores ainda pontuam o caráter extensivo e de baixa intensidade do rebanho dessa atividade, de modo que essa tende a manter seu padrão de demanda por novas áreas. Os autores

utilizaram de um modelo em dados em painel para os 782 municípios pertencentes a Amazônia Legal, no período de 2000 a 2006.

Silva (2009), baseado em um modelo teórico em que os agentes decidem o quanto desmatar, com base em suas expectativas de lucro futuro, usou dados dos municípios da Amazônia Legal, no período de 2002 a 2007, em um modelo de dados em painel, para investigar a dinâmica do desmatamento. Suas principais conclusões versam sobre a dinâmica imposta pelo preço da soja, da carne bovina, crédito rural e multas ambientais sobre o desmatamento. Expectativas de aumento no preço da carne e soja tendem a aumentar a área desmatada, assim como aumento na disponibilidade de crédito rural. O comportamento contrário é esperado para as multas ambientais. Por fim, o autor conclui que o desmatamento da região amazônica é um processo endógeno, guiado pelas decisões racionais dos agentes que nela vivem. Logo, as decisões de política econômica devem distorcer os preços relativos, de modo a alterar o lucro esperado, retirando os incentivos ao desmatamento.

Oliveira *et al.* (2011), através de modelos em dados em painel com defasagem espacial, investigaram a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental (CKA) para o desmatamento, para os municípios da Amazônia Legal, no período de 2001 a 2006. Dentre os principais resultados do trabalho, os autores argumentam que não há indícios de uma CKA nos municípios em questão. Entretanto, as variáveis relativas aos impactos das cidades vizinhas (defasadas espacialmente) no município apresentam o comportamento de “N”, de modo que a hipótese da CKA não pôde ser rejeitada. Ademais, o rebanho bovino, crédito rural e área de floresta preexistente afetaram positivamente o desmatamento.

Hargrave e Kis-Katos (2011) investigaram o desmatamento a nível municipal de 2002 a 2009. Foram estimados modelos em dados em painel para 457 municípios da Amazônia Legal. Os principais resultados encontrados pelos autores apontam para o impacto dos preços das culturas locais e das variáveis políticas sobre o desmatamento. Enquanto o preço da soja impactou positivamente a área desmatada, a intensidade de multas (divisão do valor total das multas aplicadas no município pela área desmata daquele ano) impactou negativamente o desmatamento.

Assunção *et al.* (2012) investigaram o impacto das mudanças institucionais de 2004 e 2008 sobre a trajetória do desmatamento na floresta Amazônica. Para tanto, fora estimado um modelo de dados em painel, para o período de 2002 a 2009. Os principais resultados demonstraram que ambas mudanças corroboraram com a queda do desmatamento. Quanto aos

preços agrícolas, os índices construídos pelos autores e os preços da soja, milho, arroz e mandioca, todos defasados em um período, correlacionaram-se positivamente com o desmatamento. O índice de preços bovinos apresentou correlação negativa com o desmatamento, enquanto o índice defasado deteve impacto positivo.

Cisnero, Hargrave e Kis-Katos (2013) procuraram investigar o impacto da corrupção sobre o desmatamento na Amazônia Legal. Para tanto, o desmatamento fora relacionado aos dados do programa de auditoria nos municípios do governo federal. As evidências encontradas apontavam para taxas de desmatamento maiores em municípios com piores medidas de fiscalização. Os autores ainda estimaram modelos em dados em painel com o desmatamento como variável dependente, para o período de 2002 a 2009. As primeiras evidências apontaram para o aumento da área desmatada após a realização das auditorias. Os resultados ainda apontam para a piora na relação entre as auditorias e o desmatamento no caso de reeleição. Tersitsch (2017) ao dar prosseguimento ao estudo, encontrou resultados mais robustos e substancialmente diferentes. A partir das novas evidências a área desmatada não seria afetada após a vitória. O mesmo ocorrera no caso das reeleições. O autor ainda advoga que municípios com pior histórico de corrupção demonstram o mesmo efeito pós auditoria que os demais, assim como o impacto das auditorias nos municípios vizinhos é não significativo.

O estudo de Tersitsch (2017) ainda procurou investigar como a “lista negra”<sup>3</sup> dos municípios afetou a área desmatada. Segundo o autor, o desmatamento reduziu entre 13% a 36% nos municípios pós adesão a lista, entre 2008 a 2012. A redução em termos absolutos corresponderia a valores entre 600 a 6750 km<sup>2</sup>. O autor ainda pontua os baixos custos da política comparada aos seus benefícios e indica o uso dessa como política complementar ao combate do desmatamento.

Entre as mudanças realizadas em 2008, destaca-se a restrição de crédito a produtores que desmataram. Assunção *et al.* (2013) procuraram compreender como essa mudança afetou o desmatamento. Os autores estimaram especificações em dados de painel para o crédito e área desmatada. A amostra cobriu os municípios da Amazônia Legal nos anos de 2000 a 2011. Dentre os principais resultados, os autores advogam que a restrição colaborou com o decréscimo do desmatamento no período, de modo que esse mecanismo de política é efetivo contra o desmatamento. Os resultados ainda demonstraram que o impacto da restrição não fora

---

<sup>3</sup> Instituída em 2008, a “lista negra” dos Municípios refere-se ao conjunto dos municípios listados com maiores áreas desmatadas anuais na Amazônia Legal (TERSITSCH, 2017).

homogêneo ao longo da amostra. As características individuais dos municípios são importantes condicionantes na efetividade dessa política. Nesse aspecto, municípios intensivos na produção de bovinos aparentam depender mais do crédito do que municípios intensivos em culturas agrícolas. Assim, os autores recomendam que as políticas de mitigação do desmatamento levem em consideração as características regionais.

Ferreira e Coelho (2015) usaram um modelo em dados em painel dos estados pertencentes a Amazônia Legal, no período de 1999 a 2011. Os autores concluem que os preços agrícolas (com destaque ao preço da soja) e o crédito agrícola são de extrema importância na determinação do desmatamento, enquanto os gastos do governo federal em políticas de estímulo não detiveram grande influência nessa variável. Assim, os autores argumentam que reversões no preço da soja e nos insumos agrícolas devem refletir na tendência da área desmatada, podendo provocar uma reversão desta. Ademais, há indícios de que as políticas públicas detiveram papel relevante na redução do desmatamento, a partir de 2004, principalmente no estado do Mato Grosso. Por fim, cabe citar os indícios de endogeneidade do crédito agrícola e a população rural em relação ao desmatamento.

Bouchardet, Porsse e Timofeiczuk Júnior (2016) investigaram o impacto do Fundo Amazônia sobre o desmatamento. Para tanto, os autores estimaram modelos de dados em painel com correções para a autocorrelação espacial. As especificações detinham o desmatamento como variável dependente e abrangeram 633 municípios da Amazônia Legal, no período entre 2002 e 2013. Os preços agrícolas mostraram correlação positiva com o desmatamento enquanto os preços de bovinos apresentaram comportamento contrário. Por fim, as evidências apontaram para o impacto negativo do fundo sobre a área desmatada. Assim, a criação desse corroborou com as demais políticas públicas na redução do desmatamento. Entretanto, os autores alertam para a falta de robustez dos resultados e a necessidade de pesquisas futuras sobre o tema.

Uma vez que o Cerrado faz fronteira a Amazônia e suas culturas agrícolas são semelhantes, compreender os movimentos desse faz-se *mister* na compreensão do uso da terra na Amazônia. Silva *et al.* (2013) descrevem que o início da ocupação da região se deu no ciclo do ouro. A criação de bovinos e atividades da agricultura ocorriam apenas para alimentar a população que ali residia. Em 1930, criada pelo governo Vargas, a Marcha para o Oeste buscava a integração nacional via ocupação do Planalto Central e da Amazônia, o projeto ainda previa o aumento da produtividade agrícola para sustentar a industrialização do centro-sul. Com o II Plano Nacional de Desenvolvimento (PND) de 1974, fora criado o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO) e seu sucessor, o Programa de Cooperação



Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados (PROCEDER), que vigorou no período de 1978 a 2001. Segundo os autores, a partir desses programas o bioma tornou-se o produtor de grande parte dos alimentos e matérias primas, que atendiam aos mercados interno e externo.

Ferreira *et al.* (2009) descrevem que este bioma possui características desejáveis para o desenvolvimento da agropecuária. Essas características somadas aos investimentos públicos em infraestrutura transformaram a região em um grande celeiro de monoculturas comerciais, como a soja e o milho, além de rebanhos bovinos (FERREIRA *et al.*, 2009). O autor ainda destaca o crescimento da demanda por biocombustíveis como fator agravante ao aumento do desmatamento no Cerrado.

Colusso, Parré e Almeida (2012) procuraram verificar a hipótese da CKA para o desmatamento no Cerrado, no ano de 2008. Foram estimados modelos com e sem defasagem espacial. Os dados compreendiam 1306 municípios que possuem alguma área do Cerrado brasileiro. Os principais resultados encontrados versam sobre a não rejeição da hipótese da CKA em formato de “N”, de modo que embora as taxas de crescimento do desmatamento se tornem decrescentes a partir de um determinado ponto, essas tendem a ter uma nova inversão a partir de um determinado nível de renda. Ademais, os autores ainda argumentam que a densidade demográfica, área plantada (temporária e permanente) e o rebanho impactaram positivamente o desmatamento.

Correa (2013), descreve que as produções de soja, assim como a canavieira e pecuária bovina, possuem um caráter expansivo na região do Cerrado. Segundo a autora, o crescimento da produção de soja, em períodos recentes, está atrelado a expansão da área cultivada, e em menor escala, a expansão dos rendimentos. No caso da produção canavieira, encontrou-se um padrão semelhante, de modo que a expansão da fronteira dessa *commoditie* se dá rumo ao Centro-Oeste e não mais no Sudeste. Assim, a autora destaca a substituição das áreas de pastagem por monoculturas. Esse processo acaba por “empurrar” a produção de carne bovina para a Amazônia, corroborando ao desmatamento desses dois biomas.

Portanto, em décadas passadas, o desmatamento deteve influência direta das políticas de industrialização, dada a necessidade de modernização, expansão e recursos a indústria nascente da economia brasileira. Pós a abertura comercial, os estímulos de mercado corroboraram a expansão da estrutura previamente criada. Cabe aqui destacar a produção bovina, de soja, canavieira, e demais *commodities* como principais indutores desse comportamento. Logo, variáveis como crédito agrícola, densidade do rebanho e seu tamanho,

plantação permanente e temporária, preço da soja e da carne bovina, taxa de câmbio, estímulos estatais e crescimento demográfico devem impactar diretamente o desmatamento.

### 2.3 DESMATAMENTO, MEIO AMBIENTE E FLORESTA AMAZÔNICA

Segundo Molion (2008), a radiação eletromagnética emitida pelo sol no comprimento de onda entre  $0,1\mu\text{m}$  e  $0,4\mu\text{m}$  (Radiação de Onda Curta) é a principal fonte primária de energia do planeta terra. Características como: tipo de nuvens e sua extensão; concentração de aerossóis; partículas suspensas no ar e disposição da superfície terrestre (geleiras, florestas, oceanos, etc.) influenciam na absorção da Radiação de Onda Curta (ROC), caracterizando o albedo terrestre. A partir da ROC, o montante que não é refletido pelo albedo é absorvido pela superfície. Parte da radiação absorvida é reemitida para a atmosfera, no formato de Radiação de Onda Longa (ROL), com o comprimento de onda situado entre  $4,0\mu\text{m}$  e  $50\mu\text{m}$ . Parte dessa radiação é absorvida, em maior escala, pelo vapor d'água, pelo gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e pelo metano ( $\text{CH}_4$ ). Os gases óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), ozônio ( $\text{O}_3$ ) e compostos de clorofluorcarbono (CFC) também corroboram para a absorção, embora em menor escala. Assim, o montante não dissipado ao espaço da ROL acaba por elevar a temperatura do planeta, constituindo o chamado *efeito estufa*.

Segundo Fearnside (2007), a contribuição do desmatamento para o efeito estufa se dá na emissão dos gases carbônico ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Sendo a emissão relacionada a queimada e a decomposição da biomassa que não queimou.

Quanto as causas do desmatamento, Geist e Lambin (2001), realizaram uma ampla revisão de literatura sobre o tema. Foram consultados no estudo 152 artigos referentes a diversas regiões do planeta. Segundo os autores, as causas primárias estão ligadas a expansão da agropecuária, extração de madeira e infraestrutura no acesso e escoamento da produção dessas atividades. Como aspectos secundários, destacam-se: ambiente econômico, institucional, cultural e social correlatos as atividades do fator primário.

De acordo com dados do Ministério de Ciência e Tecnologia (2016), o Brasil emitiu aproximadamente 2.06 bilhões de toneladas de  $\text{CO}_2$ , no ano de 2014. A emissão de  $\text{CO}_2$  devido a “Mudança de Uso da Terra e Floresta” – a qual detém relação direta com o desmatamento – foi responsável por 49% desse resultado.

Portanto, no caso brasileiro, a maior parte da emissão de um dos maiores causadores do efeito estufa está ligada direta ou indiretamente ao desmatamento. Logo, compreender os

principais determinantes e a dinâmica do desmatamento no Brasil faz-se mister no entendimento do impacto deste ao *efeito estufa*.

#### 2.4 ECONOMIA E MEIO AMBIENTE À LUZ DA CURVA AMBIENTAL DE KUZNETS

Após a publicação de Meadows *et al.* (1972) intitulado *The limits to growth*, as preocupações com os impactos do crescimento econômico sobre o meio ambiente levaram a um extenso debate entre acadêmicos, *policy markers* e a sociedade.

No início dos anos 1990, os estudos seminais de Grossman e Krueger (1991) descreviam a relação entre a degradação ambiental e o crescimento da renda *per capita*, conhecida posteriormente como Curva de Kuznets Ambiental (CKA). Sua hipótese inicial baseava-se na relação descrita por Kuznets entre a desigualdade de renda e a renda *per capita*. Nessa, existiria um ponto de inflexão em um determinado nível de renda. De modo que a relação seria descrita como um “U” invertido. Em termos de degradação ambiental, a hipótese da existência do ponto de inflexão implica que após um determinado nível de renda, espera-se que a taxa de degradação ambiental seja decrescente. Os resultados obtidos pelos autores versavam sobre a existência de um ponto de inflexão para o dióxido de enxofre e fumaça negra, sendo esse por volta de US\$ 5.000 em termos de renda *per capita*. Os autores ainda verificaram a existência de dois pontos de inflexão para as partículas suspensas. Essa constatação sugere que o formato da curva seria em “N”. Nesse caso, o segundo ponto de inflexão sugere que para um determinado nível de renda *per capita*, espera-se que a taxa de degradação ambiental volte a ser crescente. Os pontos situaram-se em torno de US\$ 10.000 e US\$ 15.000.

Carvalho (2013) ressalta que a constatação de Grossman e Krueger (1991) fora de extrema importância para o estudo da relação entre os impactos econômicos da produção sobre o meio ambiente. Segundo o autor, a hipótese de “U” invertido aponta a inexistência do *tradeoff* entre degradação ambiental e crescimento econômico, de modo a corroborar com a crença daqueles que acreditam que o crescimento econômico não deve ser sacrificado em detrimento da preservação do meio ambiente. O autor ainda ressalta a vasta literatura sobre a CKA ao longo dos últimos vinte anos, com mais de duas centenas de artigos publicados sobre o tema.

Diversos autores descrevem os motivos que levariam a existência dos pontos de inflexão. Serra e Moraes (2006) descrevem que o comportamento da CKA seria justificado por 3 mecanismos. O primeiro versa sobre o comportamento da sociedade. Segundo o autor, nos

momentos iniciais do desenvolvimento, as restrições de consumo e falta de conhecimento sobre os impactos da atividade econômica resultam em maior tolerância com a degradação do meio ambiente. À medida que a renda se eleva, a maior conscientização quanto à preservação resulta no consumo de bens mais ambientalmente inofensivos, bem como na exigência por regulações mais firmes por parte do estado. A segunda causa da existência dos pontos de inflexão deriva do progresso técnico. A medida em que a economia se desenvolve, espera-se que as tecnologias adotadas tenham impacto menor sobre o meio ambiente. O terceiro mecanismo versa sobre a especialização produtiva de cada nação. Com o crescimento econômico e a especialização em sua vantagem comparativa, menos recursos naturais seriam exauridos na produção. Esse argumento ainda leva em consideração o perfil de importação que privilegiaria os bens menos degradantes ao meio ambiente, à medida que a renda cresce.

Fonseca e Ribeiro (2005), destacam que o comportamento da CKA pode ser explicado pela transição entre os macrossetores de uma economia. No início, em uma economia agrária, os indivíduos, ansiosos por emprego e renda, seriam toleráveis com a degradação ambiental. À medida que a economia se transforma em uma economia industrial, a aceleração na degradação mudaria as preferências dos indivíduos, que passariam a exigir maior qualidade ambiental. O ponto de inflexão seria explicado não apenas pelas novas preferências, como também pela transição dessa economia industrial por uma economia focada nos serviços, dados os menores impactos que essa atividade causa no meio ambiente.

## 2.5 INSTITUIÇÕES E DESMATAMENTO

Segundo Santos, Silva e Rodrigues (2016), na década de 1930, o Brasil já contara com políticas públicas em prol da preservação ambiental. O Código Florestal, instituído a partir do Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934 (BRASIL, 1934), prescrevia a preservação de 25% da área original da floresta em imóveis. A medida que a economia nacional se desenvolveu, as necessidades de adequação do Código aos objetivos nacionais levaram a alterações nesse. A Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (BRASIL, 1965), foi instituída a fim de adequar a legislação ambiental as necessidades de avanço da agricultura no período (SANTOS; SILVA; RODRIGUES, 2016).

Em 1981, a Lei da Política Nacional de Meio Ambiente, instituída pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981) fora um marco no direito ambiental brasileiro (SANTOS; SILVA; RODRIGUES, 2016). Com a instituição dessa, a criação do Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama) alterou a capacidade de atuação sobre o meio ambiente,

a nível Federal, Estadual e Municipal. De forma geral, Santos, Silva e Rodrigues (2016) descrevem a divisão de funcionamento político-administrativo do Sisnama entre:

[...] a) Conselho de Governo, com assessoria direta ao presidente da República no que tange à formulação de diretrizes governamentais e a política nacional ambiental; b) Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) é um órgão consultivo e deliberativo com a finalidade de assessorar o Conselho de Governo e propor diretrizes de políticas governamentais para o meio ambiente, e que engloba diferentes setores sociais: representantes de entidades de trabalhadores e da sociedade civil, representantes de entidades ambientalistas, representante de trabalhadores da área rural, representante de entidades profissionais com atuação na área ambiental e de saneamento indicado pela Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, representante da comunidade indígena indicado pelo Conselho de Articulação dos Povos e Organizações Indígenas do Brasil e representantes dos ministérios públicos federal e estaduais; c) Ministério do Meio Ambiente (MMA), que funciona como órgão central, atua na formulação, no planejamento e na coordenação da política nacional e nas diretrizes governamentais para o meio ambiente; d) Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, que atua como órgão executivo das políticas e diretrizes governamentais ambientais e sua fiscalização; e) os órgãos seccionais são entidades estaduais, como a Secretaria de Meio Ambiente (SEMA), direcionadas à execução de programas em prol do uso racional dos recursos naturais e projetos de controle e fiscalização das atividades potencialmente poluidoras. (SANTOS; SILVA; RODRIGUES, 2016).

Ademais, Santos, Silva e Rodrigues (2016) ainda descrevem o caráter da Constituição Federal de 1988 sobre as questões ambientais. Segundo os autores, diversos artigos da Constituição ressaltavam a importância da preservação do meio ambiente a fim de garantir a manutenção de condições sustentáveis as gerações futuras.

Barreto e Silva (2010) descrevem que durante a década de 1990, o governo brasileiro continuou a alterar a legislação ambiental conforme os movimentos das infrações contra o meio ambiente. Em 1995, em decorrência da elevação do desmatamento anual da Floresta Amazônica daquele ano, fora aprovada o aumento de 30% na área de reserva legal em propriedades localizadas na Amazônia Legal. Em 1998, após um grande incêndio em Rondônia, o valor máximo das multas aplicadas saltou de U\$\$ 3.000,00 para U\$\$ 30.000.000,00 (BARRETO; SILVA, 2010). Os autores ainda descrevem que simultaneamente a essas medidas, o governo Federal, junto aos Governos Estaduais, criou diversas Unidades de Conservação, além da demarcação de Terras Indígenas.

Ao longo da década de 2000, diversas mudanças institucionais obtiveram impacto direto no desmatamento. Assunção *et al.* (2012), ao descrever o *modus operandi* da política ambiental referente a Floresta Amazônica no período, pontua três eixos de atuação dos esforços do Governo Federal em conjunto ao Ministério do Meio Ambiente, sendo eles: aumento das áreas de proteção, fortificação das estratégias de controle e comando e políticas restritivas de crédito aos produtores indutores do desmatamento.

Após dois anos seguidos de aceleração na taxa de desmatamento, criou-se, em 2003, o Plano Amazônia Sustentável (PAS). O Plano era composto por um conjunto de políticas específicas que abrangiam desde a repressão do desmatamento até o fomento de atividades produtivas consideradas sustentáveis (MIRAGAYA, 2013). Dentro ao âmbito do PAS, o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) fora um dos principais instrumentos na redução do desmatamento na década de 2000. (MIRAGAYA, 2013; ASSUNÇÃO *et al.* 2012; BARRETO; SILVA, 2010).

O PPCDAm foi fruto do Grupo Permanente de Trabalho Interministerial formado com o intuito de reduzir o desmatamento na Amazônia Legal. Assunção *et al.* (2012) descreve a atuação do programa em três áreas principais: i) Comando e Controle; ii) Manejo do Território e do Uso da Terra; iii) Promoção de Práticas Sustentáveis.

A partir da adesão do programa, a necessidade do monitoramento das áreas de preservação culminou na criação do Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER) e do Centro de Monitoramento Ambiental (CEMAM) dentro do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Com a melhora dos dados referentes ao desmatamento, o crescimento no número de funcionários do IBAMA fora acompanhado pelo aumento da qualidade do serviço prestado. Assim, o impacto do PPCDAm sobre a atuação do IBAMA refletiu-se no aumento do valor total das multas aplicadas a partir de 2006 (ASSUNÇÃO *et al.*, 2012).

Miragaya (2013) descreve que dos eixos de atuação do plano, a criação de áreas protegidas em regiões ameaçadas apresentou a maior eficácia. A criação de Unidades de Conservação se deu no entorno das rodovias federais: BR-163 (Cuiabá-Santarém), BR-230 (Transamazônica) e BR-319 (Porto Velho-Manaus). Nesse aspecto, segundo o autor, a alteração da Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) realizada pela Lei nº 11.132, de 4 de julho de 2005 (BRASIL, 2005) conferiu ao poder público a definição de Áreas sob Limitação Administrativa Provisória (ALAP). Por meio dessas regiões em que a autoridade ambiental avaliasse como de alto risco de desmatamento seriam limitadas a fim de se tornarem Unidades de Conservação. A partir dessa mudança, 180.000 km<sup>2</sup> de áreas de conservação foram criadas entre 2004 e 2009. Entre 2000 e 2004, 100.000 km<sup>2</sup> de floresta foram convertidos em áreas de conservação. Logo, a mudança na legislação permitiu a elevação da taxa de crescimento na criação de Unidade de Conservação (ASSUNÇÃO *et al.*, 2012).

Dos três eixos inicialmente propostos no programa, a promoção de práticas sustentáveis na produção obteve o menor êxito (IPEA *et al.*, 2012). Assim, com o seu sucesso relacionado a práticas de controle e comando, o programa fora incapaz de instituir mudanças significativas na estrutura produtiva da região. O relatório produzido a partir dos esforços do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Comissão Econômica para a América Latina (CEPAL), Ministério do Meio Ambiente (MMA) e *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH* ressalta a necessidade de replanejamento do PPCDAm em prol do terceiro eixo. Embora esse aponte o sucesso obtido com as práticas de monitoramento e criação de Unidades de Conservação, as medidas em prol de uma economia sustentável na região são postas como meio de se garantir a redução permanente das taxas de desmatamento. Assim, o relatório aponta para a necessidade de se promover mudanças na produção compatíveis com a infraestrutura local (IPEA *et al.*, 2012).

Em dezembro de 2007, os dados do DETER mostraram que o desmatamento em novembro de 2007 dobrou em relação ao mesmo período do ano anterior. Em resposta a esse comportamento, uma série de medidas foram implementadas (BARRETO; SILVA, 2010). Barreto e Silva (2010) descrevem esse conjunto de medidas como o “plano mais compreensível ao combate do desmatamento”.

O Decreto nº 6.321, de 21 de setembro de 2007 (BRASIL, 2007) estabelecia bases legais para atuações mais rígidas em municípios com as maiores taxas de desmatamento. Em janeiro de 2008, a divulgação da Portaria 28 do Ministério do Meio Ambiente apontava para 36 Municípios em que o desmatamento chegara a níveis tidos como críticos. (ASSUNÇÃO *et al.*, 2012). As operações nesses começaram em março de 2008. As ações resultaram em: confisco de equipamentos, aplicação de multas e embargo de áreas desmatadas (BARRETO; SILVA, 2010).

Além de estabelecer medidas mais rígidas aos indutores diretos do desmatamento, as medidas adotadas no período ainda afetaram o restante da cadeia produtiva. Os compradores dos produtos provenientes de áreas embargadas tornaram-se sujeitos a sofrerem medidas legais pelos crimes ambientais (BARRETO; SILVA, 2010).

As medidas estabelecidas ainda dificultavam o financiamento em áreas desmatadas. A Resolução nº 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (CONSELHO MONETÁRIO NACIONAL, 2008), publicada pelo Conselho Monetário Nacional, impunha restrições a concessão de crédito agrícola. O principal objetivo dessa era restringir o acesso dos infratores ambientais ao crédito.

Assim, a concessão de crédito agrícola foi vinculada aos seguintes requisitos: Certificado de Cadastro de Imóvel Rural (CCIR); declaração de não possuir áreas embargadas dentro do imóvel rural e atestado que comprove o cumprimento da legislação ambiental pela atividade a ser financiada (ASSUNÇÃO *et al.*, 2013).

Devido a vulnerabilidade dos pequenos produtores, as regras impostas pela Resolução nº 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (CONSELHO MONETÁRIO NACIONAL, 2008) incluíam algumas exceções. Classificados em três grupos no primeiro momento, os produtores de pequena escala não seriam obrigados a cumprir todas as exigências estabelecidas no decreto (ASSUNÇÃO *et al.*, 2013).

Com o passar dos anos, novas exceções foram concedidas aos pequenos produtores. Assunção *et al.* (2013) advoga que além das concessões, a heterogeneidade presente entre os municípios da região condiciona o efeito da resolução de formas diferentes entre os agentes produtores.

Além das medidas provenientes do Estado, campanhas promovidas por Organizações Não Governamentais (ONGs) também afetaram o desmatamento. Concomitante as mudanças institucionais de 2008, as ações do Greenpeace junto ao Ministério Público Federal do Pará culminaram na adesão dos frigoríficos a acordos legais intitulados Termos de Ajustamento de Conduta (TAC). Os TAC's previam que os produtos pecuários dos frigoríficos deveriam provenir de fazendas sem áreas desmatadas ilegalmente. Em outubro de 2008, os 4 maiores frigoríficos da região aderiram aos TAC's (GIBBS *et al.*, 2015). A adesão ao acordo resultou na suspensão da compra de carne 221 propriedades que não seguiam as regras impostas pela legislação ambiental, por parte dos frigoríficos (BARRETO; SILVA, 2010).

Ademais, outras iniciativas ainda ocorreram no período. Dentre elas, cabe citar a criação do Fundo Amazônia. Segundo Bouchardet, Porsse e Timofeiczky Júnior (2016), em Agosto 2008, foi criado o do Fundo Amazônia através do Decreto nº 6.527 de 1 de agosto de 2008 (BRASIL, 2008). O principal objetivo do fundo seria financiar projetos compatíveis com a redução da emissão dos gases do efeito estufa e desmatamento. A criação desse ocorrera em consonância aos princípios do PPCam e do PAS. A responsabilidade de gerir o fundo como um todo fora conferida ao Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) de acordo com as diretrizes do Comitê Orientador do Fundo Amazônia (COFA).

No contexto geral, o Fundo fornece financiamento para projetos com as seguintes temáticas:



1) Gestão de florestas públicas e áreas protegidas; 2) Controle, monitoramento e fiscalização ambiental; 3) Manejo florestal sustentável; 4) Atividades econômicas e sustentáveis a partir do uso sustentável da floresta; 5) Zoneamento ecológicoeconômico, ordenamento territorial e regularização fundiária; 6) Conservação e uso sustentável da biodiversidade; 7) Recuperação de áreas desmatadas. (BOUCHARDET; PORSSE; TIMOFEICZYK JÚNIOR, 2016)

Responsável por 98% das doações, a Noruega, é o maior provedor de recursos ao fundo. A maior parte dos financiamentos situou-se em projetos de monitoramento e controle (BOUCHARDET; PORSSE; TIMOFEICZYK JÚNIOR, 2016).

Logo, importantes mudanças institucionais ocorreram na década de 2000. Na literatura consultada verificou-se um consenso sobre o impacto positivo que essas detiveram sobre a redução do desmatamento (MIRAGAYA, 2013; ASSUNÇÃO *et al.* 2012; ASSUNÇÃO *et al.*, 2013; BARRETO; SILVA, 2010; GIBBS *et al.*, 2015; BOUCHARDET; PORSSE; TIMOFEICZYK JÚNIOR, 2016; FERREIRA; COELHO, 2015).

Assunção *et al.* (2012) argumentam que devido as mudanças ocorridas, 2004 e 2008 foram pontos de inflexão para o desmatamento. As evidências encontradas pelos autores apontam para a mudança de trajetória da área desmatada anual em ambos os momentos. O impacto positivo gerado por ambas quebras estruturais teria poupado 62.038 km<sup>2</sup> de floresta entre 2005 e 2009. Desse resultado, Assunção *et al.* (2013) apontam para o papel da Resolução n° 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (CONSELHO MONETÁRIO NACIONAL, 2008). Segundo os autores, a redução do crédito teve um papel crucial na queda do desmatamento. 2.783 km<sup>2</sup> de área da Floresta Amazônica não foram desmatados devido a medida, entre 2009 e 2011. Assim, políticas públicas que envolvam o crédito seriam eficazes no combate ao desmatamento. Os autores ainda ressaltam a necessidade de se planejar o andamento da política. O intervalo entre o anúncio e a execução dessa permitiu aos tomadores de crédito antecipar a concessão, reduzindo parte do efeito sobre o desmatamento.

No caso dos resultados das demais políticas, Bouchardet, Porsse e Timofeiczky Júnior (2016) destacam a contribuição do Fundo Amazônia aceleração da redução do desmatamento nos municípios em que esse financia algum projeto. Ainda segundo os autores, o desmatamento teria sido 29% maior entre 2009 e 2013, caso o fundo não existisse. Entretanto, esses ressaltam a necessidade de estudos futuros sobre a robustez desse resultado.

Gibbs *et al.* (2015) destacam o aspecto positivo dos acordos de desmatamento zero com os frigoríficos. Entretanto, a transferência de animais de zonas ilegais para fazendas sem área desmatada comprometeria o processo. Em questionários aplicados pelos autores aos

produtores da região, a prática fora apontada como comum. Ademais, a venda de animais provenientes de zonas ilegais a frigoríficos menores, que não fazem parte dos acordos, comprometem a efetividade da política. Por fim, os autores ressaltam a necessidade de melhorar a abrangência dos TAC's, uma vez que o rastreamento dos animais ainda é uma realidade distante.

### 3 METODOLOGIA E BASE DE DADOS

#### 3.1 METODOLOGIA

Para compreender a dinâmica do desmatamento, esse trabalho procurará estimar esse em função dos preços das principais *commodities* produzidas na Amazônia e a área destinada ao cultivo desses. Ainda pretende-se incluir o crédito agrícola nessa função.

Na literatura consultada, grande parte dos trabalhos empíricos adota estimações via dados em painel a nível municipal. Essa abordagem garante que os parâmetros estimados controlem tanto a dinâmica temporal, quanto as características não observáveis de cada município. Autores como: Silva (2009), Riveiro *et al.* (2009), Assunção *et al.* (2012), Assunção *et al.* (2013) adotaram o modelo com efeitos fixos. Já Diniz *et al.* (2009); Ferreira e Coelho (2015) adotaram a metodologia de Arellano e Bond (1991). Outros autores como Oliveira *et al.* (2011) e Bouchardet, Porsse e Timofeiczuk Júnior (2016), denotam os efeitos que o espaço causa sobre o desmatamento, através de modelos com defasagem espacial. Autores como Hargrave e Kis-Katos (2011); Cisnero, Hargrave e Kis-Katos (2013); Tersitsch (2017) adotaram algumas especificações com efeitos fixos e outras com defasagem espacial.

Entretanto, em todos os trabalhos da literatura consultada, os parâmetros foram fixos ao longo de toda a amostra. Em alguns casos, embora especificações para subgrupos da amostra fossem estimadas, a divisão das categorias ficava a cargo do autor. Nenhum dos trabalhos consultados permitiu que os subgrupos fossem estabelecidos endogenamente. Nesse aspecto, a divisão dos subgrupos ainda pode se dar em função de um fator exógeno, como destaca Hansen (1999). Segundo o autor, em alguns casos, a regressão estimada pode não ser válida para todos os indivíduos. Esses estariam divididos entre classes diferentes, de modo que os parâmetros estimados difiram para cada classe. A divisão dos indivíduos ainda poderia ocorrer de acordo com os valores de uma variável exógena, mas observada. Como um exemplo em que os coeficientes não são fixos, o autor denota o efeito que a restrição de acesso ao financiamento teria no investimento das empresas. Através da teoria clássica, as decisões de investimento deveriam depender apenas do  $q$  de Tobin de um projeto específico (razão entre o valor do capital e seu custo de reposição). Para projetos rentáveis, não haveriam restrições ao financiamento. Entretanto, em ambientes com informações imperfeitas, o acesso ao financiamento pode ser limitado. Assim, empresas com maiores restrições de acesso ao financiamento seriam obrigadas custear seus investimentos de acordo com seus próprios recursos. Logo, o investimento para essas firmas seria correlacionado com seu fluxo de caixa (HANSEN, 1999).

Hansen (1999) argumenta que esse problema levou Fazzari *et al.* (1988)<sup>5</sup> a dividir sua amostra baseado no nível de restrições de acesso ao financiamento das firmas e a estimar especificações para cada grupo. Entretanto, o autor argumenta que essa prática ocorre de dois problemas principais: A divisão dos grupos se deu a partir dos valores de uma variável endógena ao modelo e fora determinada arbitrariamente pelos autores.

Para corrigir ambos os problemas, Hansen (1999) propõem a estimação de um modelo em que os parâmetros estimados são função de uma variável exógena (denominada variável de limiar) ao modelo. Assim, essa condiciona regimes diferentes conforme o seu valor. Ou seja, os parâmetros estimados representam a relação entre as variáveis independentes sobre a dependente em um determinado intervalo da variável de limiar. Logo, a existência de múltiplos regimes está associada a quebras estruturais na função estimada.

Tomando novamente como base o exemplo do investimento sobre restrições de financiamento, Fazzari *et al.* (1988) *apud* Hansen (1999) estimaram função de investimento para as empresas com e sem restrição de crédito. Os subgrupos foram construídos com base na proporção dos dividendos pagos pela produção. Assim, 3 grupos foram criados. O primeiro contém as firmas com a proporção inferior a 10% durante 10 anos; o segundo contém as empresas com proporção entre 10% a 20% durante 10 anos e o terceiro contém as demais empresas. Hansen (1999) argumenta que essa divisão fora construída a partir de uma variável endógena, uma vez que a teoria trata a decisão de pagar os dividendos como dependente das restrições ao financiamento. Ademais, a decisão dos intervalos da proporção fora arbitrariamente definida. Assim, Hansen (1999) argumenta que esse método poderia levar a estimações viesadas e interferências não compatíveis com a realidade do problema tratado.

Para solucionar esse problema, Hansen (1999) propõem a estimação de um modelo que o próprio construiu. Trata-se de um modelo em dados em painel com variável de limiar, ou Panel Threshold Regression (PTR). O autor procura reconstruir o trabalho de Fazzari *et al.* (1988) a partir de uma base de dados com 565 firmas entre os anos de 1973 a 1987. Em substituição a proporção entre dividendos e a produção, adota-se a proporção entre débito por ativos da empresa. Segundo Hansen (1999), essa variável seria exógena ao acesso ao financiamento. Na função do investimento especificada, apenas o parâmetro do fluxo de caixa seria dependente dos regimes. Os resultados demonstraram que existem duas quebras

---

<sup>5</sup> FAZZARI, S. M.; GLENN HUBBARD, R.; PETERSEN, B. C. Financing constraints and corporate investment. **Brookings Papers on Economic Activity**. p. 141-195, 1988.

estruturais entre a relação do investimento com o fluxo de caixa. A primeira ocorre quando a proporção débito/ativo atinge 1,6% e a segunda em 53,6%. Logo, para firmas com 0% a 1,6% da proporção entre débito/ativo, o coeficiente estimado do fluxo de caixa é de 0,063. Firms com a proporção entre 1,6% e 53,6% apresentaram o coeficiente de 0,098 e firmas com a proporção superior a 53,6% detiveram o coeficiente de 0,039.

O modelo proposto por Hansen (1999) desponta como uma alternativa interessante no estudo de variáveis com quebras estruturais condicionadas ao comportamento de uma variável exógena.

Nesse quesito, formulações teóricas como a Curva de Kuznets Ambiental ressaltam a possibilidade de existência de regimes diferentes entre o desmatamento e as variáveis comumente relacionadas a esse. A hipótese da CKA associa o nível da degradação ambiental com o desenvolvimento econômico. A existência de pontos de inflexão entre essa relação exprime que a continuidade do desenvolvimento se dará via taxas crescentes ou decrescentes do uso do recurso natural, conforme o estágio de desenvolvimento. Logo, espera-se que os impactos dos incentivos à produção agropecuária sobre o desmatamento sejam superiores nos estágios iniciais de desenvolvimento, em comparação ao estágio pós primeiro ponto de inflexão, no caso da relação da CKA ser no formato de “U” invertido.

Sendo assim, os parâmetros das variáveis comumente associadas ao desmatamento (preços agrícolas, preços bovinos, área plantada, crédito agrário, tamanho do rebanho, incidências de multas, etc.) seriam uma função direta de uma variável exógena. Nesse caso, o PIB *per capita*, uma vez que esse é tido como nível de desenvolvimento pela CKA.

Além do desenvolvimento econômico, o aumento de produtividade das culturas agrícolas e agropecuárias é referenciado como poupador de recursos naturais (VALENTIM; ANDRADE, 2009). Nesse aspecto, a relação entre desmatamento e as variáveis econômicas comumente associadas a ele devem alterar-se a medida em que a produtividade se eleva. Portanto, os parâmetros estimados também podem ser denotados como funções no nível de produtividade.

Assim, este trabalho propõe-se a estimar o desmatamento em função das variáveis econômicas das principais culturas agrícolas, adotando o produto *per capita* e a produtividade agrícola como variáveis de limiar. Com isso, verificar-se-á a existência de pontos de inflexão nas especificações, bem como as diferenças entre os coeficientes dos regimes.

### 3.1.1 Panel Threshold Regression (PTR)

O Panel Threshold Regression (PTR), inicialmente proposto por Hansen (1999) refere-se a um modelo que tem como base a estimação com efeitos fixos. A estimação do modelo ainda requer dados balanceados<sup>6</sup>. A equação (1) contém a forma estrutural do modelo:

$$y_{it} = \mu_i + \beta'_1 x_{it} I(q_{it} \leq \gamma) + \beta'_2 x_{it} I(q_{it} > \gamma) + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Em que:  $y_{it}$  refere-se a variável dependente;  $q_{it}$  refere-se a variável de limiar;  $x_{it}$  refere-se a um vetor de variáveis independentes;  $\mu_i$  refere-se aos efeitos fixos;  $I(.)$  refere-se a função de indicação;  $\gamma$  refere-se ao limiar entre os regimes;  $\varepsilon_{it}$  refere-se ao termo do erro com as propriedades estatísticas usuais.

As observações são divididas entre regimes conforme os valores de  $q_{it}$ . Quando a variável de limiar é maior que o limite  $\gamma$ , os respectivos parâmetros para aquele grupo de observações são dados pelo vetor  $\beta'_2$ . Caso  $q_{it} \leq \gamma$ , os parâmetros  $\beta'_1$  conferiram os efeitos marginais das variáveis independentes para esse grupo de observações. A estimação do modelo ainda requer que todas as variáveis independentes não sejam invariantes no tempo, assim como a variável limiar. Assume-se ainda que o termo  $\varepsilon_{it}$  como independente e identicamente distribuído, com média zero e variância finita. As condições assintóticas do modelo ainda requerem  $n \rightarrow \infty$  com T considerado fixo.

Outra forma de se representar a equação (1) é :

$$y_{it} = \mu_i + \beta' x_{it}(\gamma) + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$\text{Em que: } x_{it}(\gamma) = \begin{pmatrix} x_{it} I(q_{it} \leq \gamma) \\ x_{it} I(q_{it} > \gamma) \end{pmatrix} \text{ e } \beta' = (\beta'_1 \beta'_2)$$

O método de estimação descrito por Hansen (1999) requer que os efeitos individuais dos indivíduos sejam retirados da estimação, como tradicionalmente ocorre em modelos painéis com efeitos fixos. Uma vez que o modelo em questão é não-linear, a remoção das médias individuais ocorre via subtração de (2) por (3), que resulta na equação (4):

$$\bar{y}_i = \mu_i + \beta' \bar{x}_i(\gamma) + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

---

<sup>6</sup> Tanto a dimensão cross-section quanto a dimensão temporal não deverão conter observações incompletas.

$$\text{Em que: } \bar{y}_i = T^{-1} \sum_{t=1}^T y_{it}, \bar{\varepsilon}_{it} = T^{-1} \sum_{t=1}^T \varepsilon_{it} \text{ e } \bar{x}_i(\gamma) = \begin{pmatrix} T^{-1} \sum_{t=1}^T x_{it} I(q_{it} \leq \gamma) \\ T^{-1} \sum_{t=1}^T x_{it} I(q_{it} > \gamma) \end{pmatrix}$$

$$y_{it}^* = \beta' x_{it}^*(\gamma) + \varepsilon_{it}^* \quad (4)$$

$$\text{Em que: } y_{it}^* = y_{it} - \bar{y}_i, x_{it}^*(\gamma) = x_{it}(\gamma) - \bar{x}_i(\gamma) \text{ e } \varepsilon_{it}^* = \varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_{it}$$

A equação (4) ainda pode ser escrita como em (5):

$$Y^* = X^*(\gamma) \beta' + e^* \quad (5)$$

$$\text{Em que: } Y^{*'} = \begin{bmatrix} y_{12}^* & \dots & y_{1T}^* \\ \dots & \dots & \dots \\ y_{i2}^* & \dots & y_{iT}^* \\ \dots & \dots & \dots \\ y_{12}^* & \dots & y_{1T}^* \\ \dots & \dots & \dots \\ y_{i2}^* & \dots & y_{iT}^* \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}, X^*(\gamma) = \begin{bmatrix} x_{12}^*(\gamma) & \dots & x_{1T}^*(\gamma) \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{i2}^*(\gamma) & \dots & x_{iT}^*(\gamma) \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{12}^*(\gamma) & \dots & x_{1T}^*(\gamma) \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{i2}^*(\gamma) & \dots & x_{iT}^*(\gamma) \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

$$\text{e } e^{*'} = \begin{bmatrix} \varepsilon_{12}^* & \dots & \varepsilon_{1T}^* \\ \dots & \dots & \dots \\ \varepsilon_{i2}^* & \dots & \varepsilon_{iT}^* \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$$

Para determinados valores da variável limiar, os parâmetros podem ser estimados via Mínimos Quadrados Ordinários (MQO):

$$\beta(\gamma) = (X^*(\gamma)' X^*(\gamma))^{-1} X^*(\gamma)' Y^* \quad (6)$$

Logo, a estimação de (6) envolve  $\gamma$ . Chan *apud*. Hansen (1999) e Hansen (1999) recomendam a estimação dos limiares via Mínimos Quadrados Ordinários de acordo com a seguinte função:

$$\hat{\gamma} = \arg \min_{\gamma} S_1(\gamma) \quad (7)$$

Em que:  $S_1(\gamma)$  denota o Somatório dos Quadrados dos Resíduos da equação (5).

Hansen (1999) descreve que no processo de minimização de (7) não é desejável que os regimes detenham poucas observações. Nesse caso, pode-se restringir uma porcentagem mínima de observações por regime. Ademais, o processo descrito em (7) envolve a busca pelo valor do limiar associado a variável exógena em toda amostra. Esse procedimento é descrito como numericamente intenso. Hansen (1999) estabelece um método eficiente e mais simples que consiste em restringir a minimização entre alguns quantis da amostra. Tal método reduz o número de equações estimadas e produz resultados consistentes.

### 3.1.2 Teste de Linearidade

A estimação do PTR envolve a divisão das observações conforme uma variável exógena. Hansen (1999) descreve que o primeiro passo para a estimação do modelo versa sobre

testar para a presença de não linearidades na equação. Assim, o autor desenvolve um teste a fim de obter o número de quebras estruturais na regressão de acordo com a variável exógena.

Inicialmente testa-se a hipótese de nenhuma quebra estrutural ( $H_0 : \beta_1 = \beta_2$ ). Caso essa hipótese seja rejeitada, conclui-se que existe pelo menos uma quebra estrutural no modelo em questão e a estimação correta se dá via PTR. Caso não se rejeite a hipótese de linearidade, a estimação ideal se ocorrerá via modelo em dados em painel com efeitos fixos. A estatística do teste é descrita por:

$$F_1 = \frac{(S_0 - S_1(\hat{\gamma}))}{\hat{\sigma}^2} \quad (8)$$

Em que:  $S_0$  é a soma dos quadrados dos resíduos do modelo com efeitos fixos;  $S_1(\hat{\gamma})$  refere-se a soma dos quadrados dos resíduos da estimação via PTR com um limiar;  $\hat{\sigma}^2$  refere-se a variância estimada do modelo.

Hansen (1999) ainda descreve que a distribuição de  $F_1$  não é usual, de modo que seus valores críticos não podem ser tabulados. Assim, os valores críticos do teste devem ser construídos via simulação de *bootstrap*. Wang (2015) descreve que o procedimento para a obtenção da estatística segue os seguintes passos: Obter os resíduos da estimação do modelo de efeitos fixos; Agrupar os resíduos em grupos com trocas, de modo a obter um novo resíduo; Gerar uma nova série sobre a hipótese alternativa do teste; Estimar o modelo com e sem a variável limiar e computar a estatística  $F_1$ ; Repetir os passos anteriores B vezes, de modo a obter os valores críticos.

### 3.1.3 Modelos com Múltiplos Limiares

Hansen (1999) ainda deriva a estimação do PTR com mais de um limiar. Nesse caso, tratando de um modelo com  $n$  limiares temos:

$$y_{it} = \mu_i + \beta'_1 x_{it} I(q_{it} \leq \gamma_1) + \beta'_2 x_{it} I(\gamma_1 < q_{it} \leq \gamma_2) + \dots + \beta'_{n+1} x_{it} I(\gamma_n < q_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

Assume-se os limiares como:  $\gamma_1 < \gamma_2 < \dots < \gamma_n$ . Para o caso de dois miliares, a estimação do primeiro limiar ocorre assim como em (7). A minimização para a estimação do segundo limiar ocorre de acordo com os valores do primeiro limiar. A partir dos valores do segundo limiar, estima-se novamente o primeiro limiar, uma vez que o primeiro limiar não é assintoticamente eficiente nesse caso.



No caso do modelo com dois regimes, testava-se apenas a existência de quebra estrutural. No caso do modelo com mais regimes, é necessário testar a quantidade de limiares. Para tanto, utiliza-se o mesmo teste  $F$ .

O teste  $F_2$  versa sobre a existência de 2 limiares na equação. Assim, testa-se a hipótese de apenas uma não linearidade contra duas. A estatística do teste é conferida por:

$$F_2 = \frac{S_1(\hat{\gamma}_1) - S_2^\Gamma(\hat{\gamma}_2^\Gamma)}{\hat{\sigma}^2} \quad (10)$$

Em que:  $S_1(\hat{\gamma}_1)$  refere-se ao somatório dos quadrados dos resíduos do modelo com um limiar;  $S_2^\Gamma(\hat{\gamma}_2^\Gamma)$  refere-se ao somatório dos quadrados dos resíduos do modelo com dois limiares;  $\hat{\sigma}^2$  refere-se a variância do modelo com dois limiares, conferida por  $\hat{\sigma}^2 = S_2^\Gamma(\hat{\gamma}_2^\Gamma)/n(T-1)$ .

Wang (2015) descreve que o processo de obtenção os valores críticos de  $F_2$  é semelhante ao adotado em  $F_1$ , assim como nos demais testes de limiares. Portanto, o teste proposto por Hansen (1999) pode ser visto como um teste sequencial. Deve-se realiza-lo até não se rejeitar a hipótese nula.

### 3.1.4 Teste de Chow

Gujarati e Porter (2011) definem que séries temporais estão sujeitas a alterações em sua estrutura em determinados pontos do tempo. As mudanças na estruturais na série afetam diretamente os parâmetros estimados. Logo, um modelo estimado com base em um período que contenha quebras estruturais produzirá coeficientes viesados.

Formalmente, o teste proposto por Chow tornou-se um meio eficiente de se testar a presença de quebras estruturais (GUJARATI; PORTER, 2011). Dentre as limitações do teste, destaca-se a necessidade de conhecer o período exato da quebra estrutural. Entretanto, para efeitos desse trabalho, a literatura consultada aponta para as mudanças ocorridas em 2008 como ponto de quebra.

Para a execução do teste de Chow com uma quebra estrutural, estima-se uma regressão com todos os período e duas regressões auxiliares. Cada regressão auxiliar tem início ou termino no período em que se suspeita de existência de quebra. A partir do somatório dos quadrados dos resíduos dos 3 modelos, calcula-se a seguinte estatística:

$$F = \frac{(SQR_R - SQR_{IR1} - SQR_{IR2})}{\frac{SQR_{IR1} + SQR_{IR2}}{n_1 + n_2 - 2k}} \sim F_{[k, (n_1 + n_2 - 2k)]} \quad (11)$$

Em que:  $SQR_R$  refere-se a somatório dos quadrados dos resíduos da equação com todos os períodos (restrita);  $SQR_{IR1}$  refere-se a somatório dos quadrados dos resíduos da equação com termino na primeira quebra estrutural;  $SQR_{IR2}$  refere-se a somatório dos quadrados dos resíduos da equação com início na primeira quebra estrutural;  $k$  refere-se ao número de parâmetros;  $n_1$  refere-se ao tamanho da amostra do modelo com termino na primeira quebra estrutural e  $n_2$  refere-se ao tamanho da amostra do modelo com início na primeira quebra estrutural.

Nesse caso, ao rejeitar a hipótese nula do teste  $F$ , conclui-se que o modelo possui quebra estrutural no período apontado.

### 3.1.5 Autocorrelação Espacial

Vieira (2009) descreve que a autocorrelação espacial versa sobre a coincidência entre valores similares de uma variável entre determinadas regiões vizinhas. Vieira (2015) ainda define que o índice de Moran é uma das formas mais comuns de se medir a autocorrelação espacial. O cálculo do índice é conferido por:

$$I = \left( \frac{n}{S_o} \right) \left( \frac{Z'WZ}{Z'Z} \right) \quad (12)$$

Em que:  $n$  refere-se ao tamanho da amostra;  $S_o$  refere-se a um escalar igual à soma de todos os elementos de  $W$ ;  $W$  refere-se a matriz de vizinhança;  $Z$  refere-se ao vetor de valores padronizados da variável em questão.

O índice de Moran varia entre -1 e 1. Valores próximos de 0 apontam para a ausência de autocorrelação, enquanto valores próximos de -1 e 1 indicam o oposto. O sinal do índice aponta para o tipo de correlação expressa. Logo, valores próximos a -1 apontam para a presença de correlação negativa, enquanto valores próximos a 1 indicam a presença de correlação positiva.

Peres, Uhr e Uhr (2016) descrevem que o índice de Moran não traduz os padrões locais de correlação da amostra. A presença de padrões espaciais de correlação pode ser um fenômeno

restrito a algumas regiões. Assim, tem-se a necessidade de se analisar localmente a autocorrelação espacial. Para tanto, utiliza-se o índice de Moran Local, também conhecido como Indicador Local de Associação Espacial (LISA).

Além de permitir a análise local da autocorrelação, pode-se avaliar como as regiões se agrupam de acordo com o padrão de correlação a partir do índice LISA. Essa análise versa sobre a existência de *clusters* espaciais para a variável em questão. O cálculo do índice LISA é conferido por:

$$I_i = z_i \sum_{j=1}^J w_{ij} z_j \quad (13)$$

Em que:  $z_i$  refere-se ao valor padronizado da variável de interesse da região  $i$ ;  $w_{ij}$  refere-se ao elemento da matriz de pesos espaciais da região  $i$  com os elementos dos vizinho  $j$ ;  $z_j$  refere-se ao valor padronizado da variável de interesse da região  $j$ .

A partir dos resultados obtido no cálculo de (13) pode-se agrupar os municípios de acordo com as seguintes classificações: Alto-Alto (AA), Alto-Baixo (AB), Baixo-Alto (BA) e Baixo-Baixo (BB). Os municípios classificados no *cluster* Alto-Alto caracterizam-se por possuir altos valores da variável em questão assim como os seus vizinhos. O *cluster* Alto-Baixo versa sobre municípios com altos valores da variável em questão que são rodeados por municípios de baixos valores, enquanto o *cluster* Baixo-Alto versa sobre municípios com baixos valores e vizinhos de municípios com altos valores. Por fim, o *cluster* Baixo-Baixo versa sobre os municípios com baixos valores da variável, assim como seus vizinhos.

## 3.2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 3.2.1 Equilíbrio do Produtor

Os bens consumidos pela sociedade, no contexto geral, não encontram-se livremente disponíveis ao consumo. A escassez, tanto de produtos quanto de insumos produtivos, confere a busca por alocações eficientes à sociedade moderna. Assim, cabe aos produtores, a partir dos estímulos de mercado, produzir eficientemente de acordo com os custos e a vontade da sociedade.

Para a produção de um determinado bem a firma usará insumos como: Trabalho, Maquinas, Terra, Insumos, etc (NICHOLSON et al., 2009). Logo, a produção de um determinado bem  $y$  pode ser definida como uma função  $f(\cdot)$  de  $n$  insumos produtivos:

$$y = f(x_1 \dots x_n) \quad (14)$$

Sendo:  $x_n$  o  $n$ -ésimo insumo produtivo.

A decisão da quantidade a ser produzida está associada ao ganho em que o produtor terá com a produção, dados os custos dessa e a tecnologia disponível (MAS-COLELL; WHINTON; GREEN, 1995). Assumindo o preço do produto ( $p_y \geq 0$ ) e dos  $n$  insumos não nulos ( $w_1 \dots w_n \geq 0$ ) e exógenos<sup>7</sup>, temos o seguinte problema ao produtor<sup>8</sup>:

$$\begin{aligned} \max_{x_1 \geq 0, \dots, x_n \geq 0} p_y f(x_1 \dots x_n) \\ \text{s.a: } \sum_{i=1}^n w_n x_n \leq g \end{aligned} \quad (15)$$

A solução do problema descrito em (15) confere o vetor  $x^* = (x_1^* \dots x_n^*)^9$ . Sob as quantidades ótimas dos insumos, o lucro do produtor é máximo. Ademais, em  $x^*$ , as condições de primeira ordem do problema (15) serão:

$$p_y \frac{\partial f(x_1^* \dots x_n^*)}{\partial x_n} \leq w_n \quad (16)$$

Em (16), caso,  $x_n \geq 0$  a relação é descrita como uma igualdade. Sendo o vetor  $x^*$  positivo, o valor da produtividade do fator  $x_n$  deve igualar-se a despesa desse insumo (KREPS, 1990). A partir da condição expressa em (16), para dois insumos  $i$  e  $j$  quaisquer, sendo  $i \neq j$ , temos:

$$\frac{\partial f(x_1^* \dots x_n^*)}{\partial x_i} / \frac{\partial f(x_1^* \dots x_n^*)}{\partial x_j} = w_i / w_j \quad (17)$$

A relação descrita em (17) descreve que a Taxa Marginal de Substituição Técnica (TMST) entre os insumo  $i$  e  $j$  deverá se igualar a relação de preços relativos desses insumos. Assim, o ponto ótimo de uso dos insumos produtivos equipará sua produtividade aos seus preços relativos. Ao substituir (17) em  $\sum_{i=1}^n w_n x_n \leq g$ , de modo a resolver o problema a todos os insumos, chegar-se-á na demanda ordinária por cada fator produtivo:

<sup>7</sup> Sob as pressuposições adotadas, os preços dos insumos e do produto não são influenciados pela quantidade produzida pela firma. Nesse caso, o produtor é “tomador” de preços.

<sup>8</sup> A função descrita em (15) diferirá no caso dos mercados do produto y ou os insumos  $x_n$  não serem competitivos. Maiores detalhes em Kreps (1990)

<sup>9</sup> Embora o problema descrito em (15) abranja o problema primário do produtor (maximização do lucro), às quantidades de insumos demandadas serão as mesmas caso o custo fosse minimizado (problema secundário).

$$x_n^*(w_1, \dots, w_n, g) \quad (18)$$

De (18), a substituição de todas as demandas ordinárias do vetor  $x^* = (x_1^*(w_1, \dots, w_n, g), \dots, x_n^*(w_1, \dots, w_n, g))$  em (14) e resolvendo para  $g$ , obteremos:

$$g(w_1, \dots, w_n, y) \quad (19)$$

A partir de (19), com sua substituição na restrição de (15) e a resolução das condições de primeira ordem, obtêm-se a curva de oferta da firma. Essa pode ser descrita como uma função dos preços dos insumos e do preço do produto:

$$y(w_1, \dots, w_n, p_y) \quad (20)$$

A substituição de (19) em (18) resultará na demanda de cada fator em função dos preços dos insumos e da quantidade produzida. A substituição de (20) no resultado da substituição de (19) em (18) resultará em:

$$x_n^*(w_1, \dots, w_n, y[w_1, \dots, w_n, p_y]) \quad (21)$$

Logo, a demanda pelo fator produtivo dependerá dos custos dos insumos, preço do produto e quantidade a ser produzida. Sob esse aspecto, o desmatamento pode ser compreendido como uma função indireta do uso do fator terra. Assim, o aumento do uso do fator terra está conectado a redução da flora nativa. Nesse cenário, os fatores que influem na variação do uso da terra afetaram indiretamente a área desmatada.

### 3.3 BASE DE DADOS E ESTRATÉGIA DE ESTIMAÇÃO

#### 3.3.1 Estratégia de Estimação

A partir da relação teórica descrita nas seções anteriores, propõem-se a expansão do uso do fator terra na região Amazônica ocorra via conversão de áreas de floresta. Assim, o desmatamento pode ser denotado como uma função indireta dos incentivos à produção das culturas locais da Amazônia. Como apontado pela literatura consultada, as principais atividades produtivas da região versam sobre a produção de soja e bovina. Sendo assim, adotou-se: os preços da soja e do boi, tamanho do rebanho, quantidade produzida de soja e montante de crédito agrícola e pecuário como variáveis independentes na função.

Tendo em vista a relação exposta na CKA, espera-se que os parâmetros descritos na função do desmatamento alterem-se conforme o nível de PIB *per capita*. O crescimento da produtividade ainda é visto como fonte de mitigação dos impactos da produção sobre o meio

ambiente. Assim, também se espera que a alteração dos níveis de produtividade induza a alterações nos parâmetros das equações. Com isso, estimou-se as seguintes equações:

$$\begin{aligned} \ln(\text{Desmat})_{it} = & \mu_i + \alpha' z_{it} + \beta'_1 x_{1it} I(q_{it} \leq \gamma_1) + \beta'_2 x_{1it} I(\gamma_1 < q_{it} \leq \gamma_2) + \dots \\ & + \beta'_{n+1} x_{1it} I(\gamma_n < q_{it}) + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \ln(\text{Desmat})_{it} = & \mu_i + \alpha' z_{it} + \beta'_1 x_{2it} I(q_{it} \leq \gamma_1) + \beta'_2 x_{2it} I(\gamma_1 < q_{it} \leq \gamma_2) + \dots \\ & + \beta'_{n+1} x_{2it} I(\gamma_n < q_{it}) + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (23)$$

Em que:  $\ln(\text{Desmat})_{it}$  refere-se a participação do desmatamento na área total do município  $i$ ;  $\mu_i$  refere-se aos efeitos fixos;  $\alpha$  refere-se aos parâmetros que regimes independentes;  $z_{it}$  refere-se ao vetor de variáveis cujos impactos não dependem da variável de limiar (Participação da Floresta na área do município e Quantidade de Soja Produzida em sacas de 60/kg);  $\beta_n$  refere-se ao vetor de parâmetros do regime  $n$ ;  $x_{1it}$  refere-se ao vetor das variáveis: Preço da Saca de 60/kg de soja, Preço do boi 15/kg, Volume de Crédito Pecuário/ (Área Municipal – Área de Floresta do Município, Volume de Crédito Agrícola/ (Área Municipal – Área de Floresta do Município) em logaritmo neperiano;  $x_{2it}$  refere-se ao vetor das variáveis: Preço da Saca de 60/kg de soja, Preço do boi 15/kg, Volume de Crédito Pecuário/Rebanho, Volume de Crédito Agrícola/ Área Plantada nas culturas temporárias e permanentes em logaritmo neperiano;  $q_{it}$  refere-se a variável de limiar (PIB *per capita* ou Valor Bruto da Produção/Área Plantada nas culturas temporárias e permanentes);  $\gamma_n$  refere-se ao  $n$ -ésimo limiar.

Assim como em Silva (2009) e Hargrave e Kis-Katos (2011), preferiu-se excluir os municípios sem uma determinada participação mínima de floresta sobre a área do município. A exclusão desses justifica-se dada a ausência de áreas disponíveis a se desmatar e da dinâmica entre produção e desmatamento, uma vez que essa depende do estoque disponível de floresta a ser convertida em áreas agricultáveis (HARGRAVE; KIS-KATOS, 2011). Assim, optou-se por analisar apenas os municípios com o mínimo de 10% de participação da floresta em sua área total. Também foram excluídos os municípios que não detinham informações sobre o tamanho do rebanho bovino e produção de soja. Os municípios que não apresentaram informações sobre o volume de crédito concedido também foram excluídos da amostra. Por fim, como a função proposta fora estimada com as variáveis independentes e dependente em logaritmo neperiano, foram excluídos os municípios que não apresentaram desmatamento em pelo menos um ano,

entre 2006 e 2014. Assim, as funções (22) e (23) foram estimadas a partir de 309 municípios pertencentes a Amazônia Legal no período de 2006 a 2014.

Uma vez que o desmatamento é um fenômeno autocorrelacionado espacialmente, optou-se por resíduos robustos e com *clusters* para a distância do município  $i$  até o porto de Santos/ São Paulo. Silva (2009), a fim de mitigar os efeitos da correlação espacial, estimou a função proposta em seu trabalho com resíduos robustos e com *clusters* para a distância do município  $i$  até Brasília. Nesse trabalho preferiu-se a distância ao Porto de Santos, dada a importância histórica desse no escoamento na produção nacional.

A diferença entre as áreas de cada município da Amazônia Legal impõe condicionantes a estimação. Municípios com maiores áreas devem apresentar áreas desmatadas maiores do que os municípios com áreas menores. Tendo em vista esse efeito, optou-se por ponderar a área desmatada no período  $t$  pela área do município. As variáveis relativas ao Rebanho e Quantidade de Soja Produzida também foram ponderadas pela Área Municipal e Área Plantada das culturas temporárias e permanentes, respectivamente. Assim como em Hargrave e Kis-Katos (2011), ponderou-se o Crédito Pecuário e Agrícola pela área do município sem a área de floresta na equação (22). Na equação (23) optou-se por ponderar o volume de Crédito Pecuário e Agrícola pelo Rebanho e Área Plantada das culturas temporárias e permanentes, respectivamente.

Todas as variáveis em valores monetários foram deflacionadas com base no Deflator Implícito do PIB tendo como base 2014. Uma vez que o desmatamento é medido entre agosto de  $t-1$  e julho de  $t$ , os preços da soja e bovino foram ajustados a essa janela. Ademais, optou-se por adotar os preços da soja e boi defasados em um período, dado o ciclo produtivo na Amazônia Legal. Assunção *et al.* (2013) descreve que o período de seca na Amazônia ocorre de junho a setembro. A época de plantação ocorre entre outubro e dezembro, enquanto a colheita ocorre entre janeiro e maio do ano seguinte. Logo, os preços de  $t-1$  – que correspondem por agosto a julho de  $t-1$  – correspondem pelos valores observados pelos produtores na decisão da produção e uso dos recursos.

A despeito dos resultados esperados, o Quadro 1 apresenta os principais resultados encontrados na literatura para as equações do desmatamento.

**Quadro 1** – Parâmetros Estimados pelos demais trabalhos com o Desmatamento com Variável Dependente.

Autor	Período	Escala de Observação	Método	Principais Parâmetros
Assunção <i>et al.</i> (2012)	2002 a 2009	Municípios da Amazônia Legal	Dados em painel	Índice Preços Agricultura (t-1): 0,229***; Índice Preços Pecuária (t-1) :-0,021***; Área disponível para desmatar pós 2004: -1,413***; Área disponível para desmatar pós 2008: -1,188***
Hargrave e Kis-Katos (2011)	2002 a 2009	Municípios da Amazônia Legal	Painel Dinâmico (Arellano e Bond)	$\Delta$ Preço do boi: -0,005 <sup>ns</sup> ; $\Delta$ Preço da Soja: 0,004 <sup>ns</sup> ; Intensidade de Multas: -0,108*; Densidade de Crédito: 0,703*
Silva (2009)	2002 a 2007	Municípios da Amazônia Legal	Dados em painel	In Preço do boi: 0,119***; In Crédito: 0,052**; Intensidade Multas: -0,123***
Assunção <i>et al.</i> (2013)	2002 a 2011	Municípios da Amazônia Legal	Dados em painel	Municípios Produtores Bovinos: In Crédito Rural: 0,225***. Municípios Produtores Agrícolas: In Crédito Rural: -0,027 <sup>ns</sup>
Bouchardet, Porsse e Timofeiczuk (2016)	2002 a 2014	Municípios da Amazônia Legal	Dados em painel com correção espacial (SAR e SEM)	In Preço Boi (t-1): -0,616**; In Preço Agrícola (t-1): 0,641**; Fundo da Amazônia: -46,801***
Ferreira e Coelho (2015)	1999 a 2011	Estados da Amazônia Legal	Painel Dinâmico (Arellano e Bond)	Preço do boi: -35,37**; Preço da Soja: 40,78***; Área de Floresta: 0,06***; PIB <i>per capita</i> : 412,77**; (PIB <i>per capita</i> ) <sup>2</sup> : -10,01*
Oliveira <i>et al.</i> (2011)	2001 a 2006	Municípios da Amazônia Legal	Dados em painel com correção espacial (SAR e SEM)	Rebanho defasado espacialmente: 0,0004***; Área Plantada soja defasada espacialmente: 0,0004***; PIB <i>per capita</i> defasado espacialmente: 0,0091***; (PIB <i>per capita</i> ) <sup>2</sup> defasado espacialmente: -3,17e <sup>-7</sup> ***; (PIB <i>per capita</i> ) <sup>3</sup> defasado espacialmente: 2,72e <sup>-12</sup> ***;

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa. <sup>ns</sup> denota a não rejeição de H<sub>0</sub>, (\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 10% de significância, (\*\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 5% de significância e (\*\*\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 1% de significância.

De acordo com o Quadro 1, no aspecto geral, os trabalhos consultados apresentaram parâmetros positivos para o Preço da Soja enquanto o Preço Bovino apresentou o sinal contrário. As medidas de contenção do desmatamento adotadas em 2004 e em 2008 foram efetivas em alterar a trajetória desse. Ademais, o desmatamento aparenta seguir o comportamento de CKA em relação a produção de seus vizinhos. Quanto ao crédito, esse aparentou impactar positivamente o desmatamento no período anterior a 2004. Por fim, cabe citar que a maioria dos trabalhos versa sobre a década de 2000. Embora alguns autores atribuam o devido tratamento as mudanças institucionais (Assunção *et al.*, 2012; Assunção *et al.*, 2013) grande parte dos trabalhos cobrem dois períodos distintos do Desmatamento. O crescimento de 2000 a 2005 e a queda nos anos posteriores.

### 3.3.2 Fonte e Tratamento de Dados

Os dados relativos ao desmatamento provem do Projeto de Monitoramento do Desflorestamento na Amazônia Legal (PRODES), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais



(INPE). O PRODES utiliza imagens de satélites da classe LANDSAT. O projeto mensura a área desmatada entre 1 ° de agosto de  $t-1$  e 31 de Julho de  $t$ .

Os dados dos preços da saca de 60/kg de soja e do boi 15/kg provem da consultoria Agrolink. Esses são reportados como a média Estadual mensal. Para construir o preço municipal, calculou-se a distância entre o município e os municípios compradores de boi e soja. A partir da identificação do município comprador que apresenta a menor distância do município  $i$ , é computado o preço estadual do comprador ao município  $i$ .

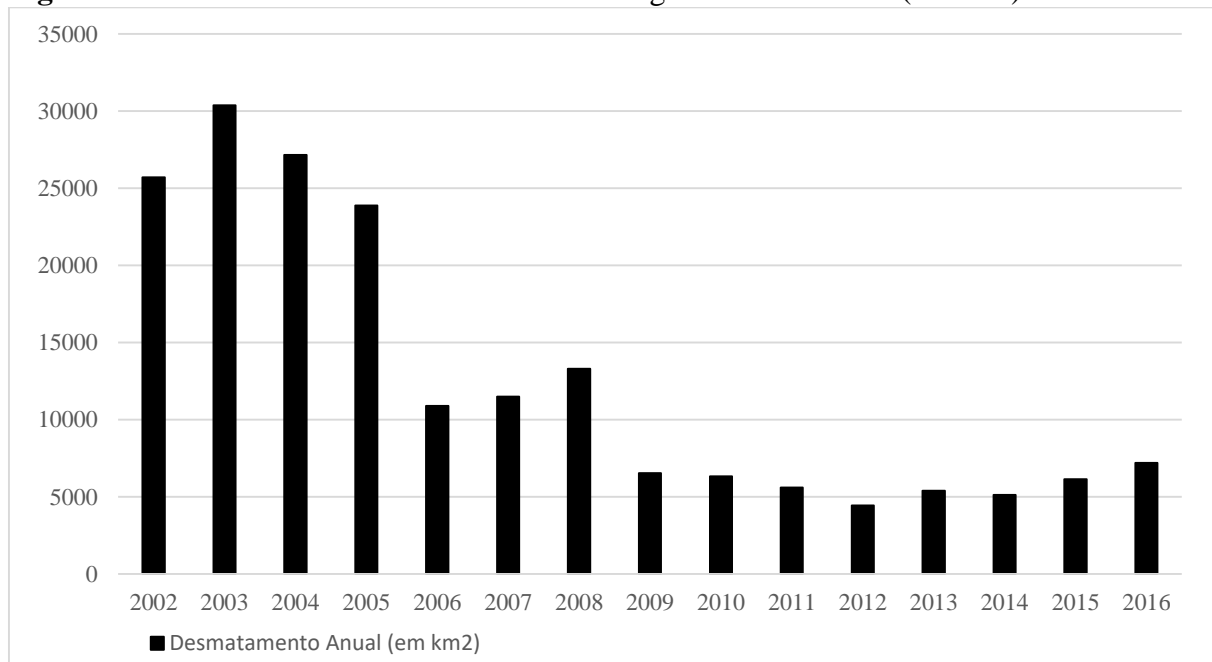
O Rebanho e produção agrícola municipal foram obtidos junto ao IBGE, assim como os dados referentes ao Produto Interno Bruto Municipal, População Municipal e Deflator Implícito do PIB. Os dados referentes ao Crédito provem do Anuário Estatístico do Crédito Rural e da Matriz de Dados do Crédito Rural (MDCR), ambos de autoria do Banco Central do Brasil.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 EVOLUÇÃO DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL DE 2002 A 2016

Essa subseção tem como objetivo analisar o comportamento do desmatamento entre os anos de 2002 a 2016<sup>10</sup>, bem como das demais variáveis apontadas na literatura como principais causadoras do desmatamento. Ainda serão analisados o comportamento da área desmatada nos nove estados que compõem a Amazônia Legal, sendo eles: Acre (AC), Amazonas (AM), Amapá (AP), Maranhão (MA), Mato Grosso (MT), Pará (PA) Roraima (RR), Rondônia (RO) e Tocantins (TO).

**Figura 3** - Desmatamento Anual na Amazônia Legal de 2002 a 2016 (em km<sup>2</sup>).



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INPE.

De acordo com a Figura 3, dentre 2002 a 2016, o comportamento do desmatamento na Amazônia Legal fora heterogêneo. A tendência de crescimento das décadas passadas reverteu-se após 2003. Desde então, o decréscimo no desmatamento foi acompanhado de dois grandes declínios. Entre 2005/2006 e 2008/2009. Nesses intervalos, o desmatamento variou em -54,37% e -50,74%, respectivamente. Segundo Assunção et al. (2012), ambas as quebras derivam das políticas públicas adotadas em 2004 e 2008. Barreto e Silva (2010) advogam que esse movimento está associado medidas como: inspeções de campo mais intensivas e focadas,

<sup>10</sup> Os dados analisados provem do cálculo do Desflorestamento nos Municípios da Amazônia Legal produzidos pelo INPE. Por usarem metodologias distintas, esses podem diferir das "Estimativas Anuais das Taxas de Desflorestamento da Amazônia Legal", que também são produzidas pelo INPE.

restrição ao crédito de produtores descumpridores da legislação ambiental e embargo econômico a áreas desmatadas.

A Tabela 1 apresenta o desmatamento anual por estados da Amazônia Legal. A nível estadual, o fenômeno apresentou a mesma estrutura de decréscimo. Apenas no Acre e Roraima a magnitude da variação entre 2002 e 2016 foi inferior a 59%. A variação de -86 % no estado Mato Grosso – maior variação no período – culminou a perda da posição de estado com o maior desmatamento para o Pará. Já o estado de Rondônia manteve-se como terceiro que mais desmata por ano. A variação de -59,7% entre o desmatamento anual no período – menor entre os estados que mais desmatam – resultou em menos 1.779,5 km<sup>2</sup> de área desmatada por ano, contra 8.523,4 km<sup>2</sup> do Mato Grosso e 5.969,1 km<sup>2</sup> do Pará. Esses resultados reduziram o diferencial do desmatamento anual entre Mato Grosso e Rondônia de 6.927,1 km<sup>2</sup> em 2002 para 183,2 km<sup>2</sup> em 2016. Já o diferencial entre Rondônia e Pará passou de 5.682,8 km<sup>2</sup> em 2002 para 1.493,2 km<sup>2</sup> em 2016.

**Tabela 1 - Desmatamento Anual dos Estados da Amazônia Legal de 2002 a 2016 (em km<sup>2</sup>).**

Ano	AC	AM	AP	MA	MT	PA	RO	RR	TO	Total
2002	959,5	1025	68,2	1.599,1	9.906,9	8.662,6	2.979,8	274,5	239,5	25.715,1
2003	1.027,7	1.609,2	423,9	1.251,1	10.804,9	11.271,0	3.290,3	557,9	143,0	30.379,0
2004	809,5	1.135,9	101,8	1.242,9	10.346,7	9.222,0	3.843,8	312,0	152,0	27.166,6
2005	739,7	871,4	60,1	1.281,1	8.521,9	8.241,9	3.647,4	127,4	400,3	23.891,2
2006	238,5	727,1	48,1	587,9	2.591,3	5.114,8	1.343,6	215,0	33,1	10.899,4
2007	168,4	543,3	92,8	600,8	2.580,8	5.587,4	1.600,4	263,8	64,2	11.501,9
2008	299,1	622,4	99,0	1.257,7	3.448,9	5.686,2	1.109,1	674,3	105,0	13.301,7
2009	168,3	349,1	46,9	962,0	828,7	3.591,2	433,1	112,6	59,7	6.551,6
2010	276,1	552,5	70,9	577,6	779,9	3.344,0	441,1	239,2	54,9	6.336,2
2011	308,7	516,7	16,2	335,6	1.067,3	2.418,9	779,2	130,5	35,1	5.608,2
2012	280,8	478,8	18,9	308,8	794,2	1.713,6	704,5	108,2	47,9	4.455,7
2013	208,1	494,6	23,8	282,9	1.105,3	2.090,0	979,9	149,1	77,3	5.411,0
2014	357,3	562,7	28,8	278,6	1.104,2	1.784,1	771,4	190,9	45,9	5.123,9
2015	230,2	697,5	19,3	213,4	1492	2.308,4	971,5	155,6	55,8	6.143,7
2016	379,5	1.017,0	12,6	244,2	1.383,5	2.693,5	1.200,3	230,2	53,4	7.214,2
<b>Total</b>	<b>6.451,4</b>	<b>11.203,2</b>	<b>1.131,3</b>	<b>11.023,7</b>	<b>56.756,5</b>	<b>73.729,6</b>	<b>24.095,4</b>	<b>3.741,2</b>	<b>1.567,1</b>	
<b>Variação</b>										
2002/ 2016	-60,4%	-0,7%	-81,5%	-84,7%	-86,0%	-68,9%	-59,7%	-16,1%	-77,7%	

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INPE.

Embora a redução do desmatamento anual fora um fenômeno comum a todos os estados no período, tal comportamento não fora homogêneo ao longo do tempo. A Tabela 2 apresenta as variações percentuais do desmatamento em relação ao período anterior. A redução abrupta em 2006 também ocorrera entre os estados, a exceção de Roraima, onde o desmatamento ampliou-se em 68,75% em relação a 2005. Nesse ano, destacam-se as reduções de 69,59% no Mato Grosso e 37,94% no Pará, os dois estados com maior desmatamento nesse período.

Em 2008, a exceção de Rondônia, o desmatamento voltou a expandir-se a taxas crescentes. Os estados do Maranhão e Roraima apresentaram as maiores variações positivas nesse ano, com 109,33% e 155,61%, respectivamente. O desmatamento no estado do Mato Grosso cresceu 33,63% no período, enquanto no estado do Pará a variação fora de 1,76%. Logo, a aceleração da taxa de crescimento do desmatamento no período deveu-se aos estados com as menores participações no desmatamento total. No estado com maior desmatamento do período (Pará), a taxa quase não se alterou entre 2007 e 2008.

No ano de 2009, a volta de variações negativas em todos os estados condicionou uma nova estrutura ao desmatamento. Nos anos seguintes, o desmatamento anual na Amazônia Legal não ultrapassou os 10 mil km<sup>2</sup>. Nesse ano, Mato Grosso e Pará apresentaram variações de -75,97% e -36,84%. O expressivo recuo do desmatamento no ano traduziu-se na redução de 6.750,1 km<sup>2</sup> de área desmatada da Amazônia Legal, em relação a 2008. A nível estadual, o desmatamento no Pará caiu de 5.686,2 km<sup>2</sup> no ano de 2008 para 3.591,2 km<sup>2</sup> em 2009. Nos demais estados líderes do desmatamento, os 3.448,9 km<sup>2</sup> em desmatados em 2008 no Mato Grosso reduziram-se à 828,7 km<sup>2</sup> desmatados em 2009, enquanto em Rondônia os 1.109,1 km<sup>2</sup> desmatados em 2008 reduziram-se a 433,1 km<sup>2</sup> em 2009.

De 2009 a 2012, embora o desmatamento anual total continuasse a declinar, o estado Rondônia aumentou a área desmatada em 76,64% entre 2010 e 2011. Desde então esse manteve taxas de crescimento consistentes da área desmatada.

Em 2012 registou-se o menor nível de desmatamento total da série. “Apenas” 4.455,7 km<sup>2</sup> foram desmatados. Esse resultado advém, principalmente, da retração da área desmatada do Mato Grosso e do Pará. De 2013 em diante, a taxa de desmatamento voltou a crescer a taxas crescentes. Os três maiores responsáveis pelo desmatamento da Amazônia Legal retornaram a exibir taxas crescentes de desmatamento, enquanto o Amazonas, em 2016, mais do que dobrou o desmatamento anual em relação a 2012.

Já os estados Maranhão e Amapá, seguiram em sentidos opostos aos demais. Além de reduzir a área desmatada ao longo do período, ambos apresentaram variações negativas do crescimento da área desmatada. Tocantins, seguindo a mesma tendência, manteve valores estáveis de área desmatada pós 2012.

**Tabela 2** - Variação do Desmatamento na Amazônia Legal em Relação ao Ano anterior de 2003 a 2016. (em %).

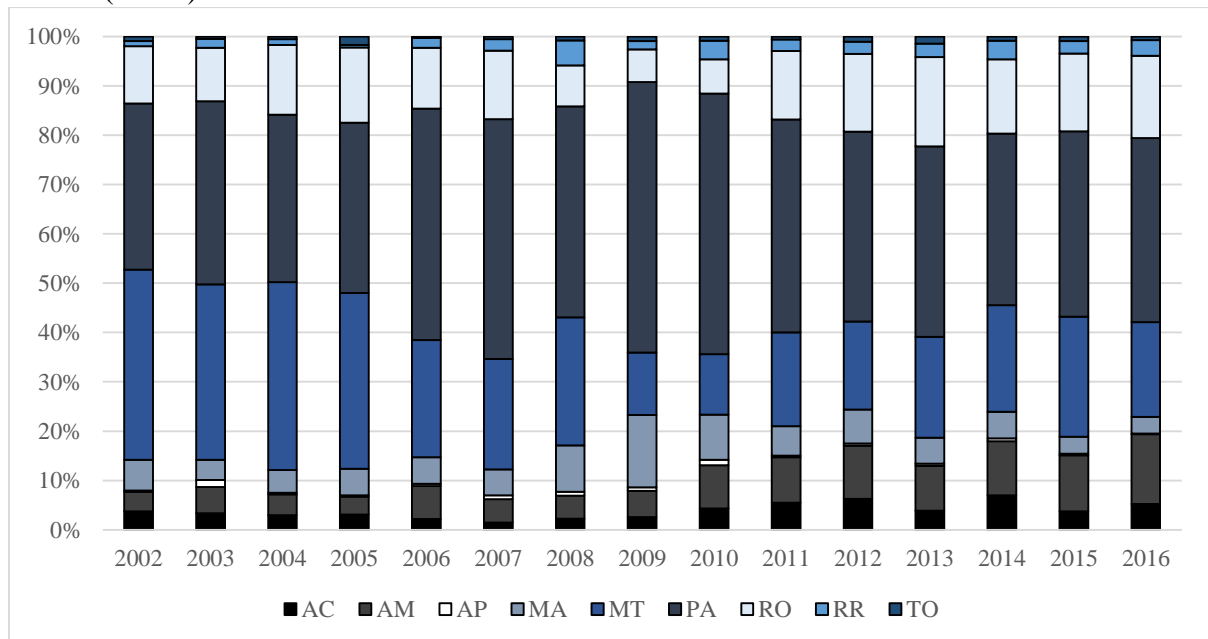
Ano	AC	AM	AP	MA	MT	PA	RO	RR	TO
2003	7,108	56,995	521,554	-21,762	9,064	30,111	10,420	103,242	-40,292
2004	-21,232	-29,412	-75,985	-0,655	-4,241	-18,179	16,822	-44,076	6,294

2005	-8,623	-23,286	-40,963	3,073	-17,637	-10,628	-5,110	-59,167	163,355
2006	-67,757	-16,560	-19,967	-54,110	-69,592	-37,941	-63,163	68,760	-91,731
2007	-29,392	-25,279	92,931	2,194	-0,405	9,240	19,113	22,698	93,958
2008	77,613	14,559	6,681	109,338	33,637	1,768	-30,699	155,610	63,551
2009	-43,731	-43,911	-52,626	-23,511	-75,972	-36,844	-60,950	-83,301	-43,143
2010	64,052	58,264	51,173	-39,958	-5,889	-6,883	1,847	112,433	-8,040
2011	11,807	-6,480	-77,151	-41,898	36,851	-27,664	76,649	-45,443	-36,066
2012	-9,038	-7,335	16,667	-7,986	-25,588	-29,158	-9,587	-17,088	36,467
2013	-25,890	3,300	25,926	-8,387	39,171	21,965	39,092	37,800	61,378
2014	71,696	13,769	21,008	-1,520	-0,100	-14,636	-21,278	28,035	-40,621
2015	-35,572	23,956	-32,986	-23,403	35,120	29,387	25,940	-18,491	21,569
2016	64,857	45,806	-34,715	14,433	-7,272	16,683	23,551	47,943	-4,301

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INPE.

A Figura 4 apresenta a participação de cada estado no total do desmatamento. É evidente que, embora o desmatamento como um todo caíra, alguns estados ganharam participação no desmatamento total. Enquanto o Mato Grosso reduziu a sua participação consistentemente ao longo do período, o estado do Pará oscilou entre momentos de: estabilidade (2002-2005), aumento (2006-2010) e pequena redução seguida de estabilidade (2011- 2016). Já Rondônia e Maranhão apresentaram comportamentos opostos. Enquanto Rondônia perdeu participação entre 2008 a 2010, retornando aos patamares anteriores nos períodos subsequentes, Maranhão aumentou sua participação nesse período e retornou aos patamares anteriores a 2008 após 2012. O estado Amazonas, seguindo a contramão dos demais estados, aumentou sua participação ao longo de todo o período, embora essa sofra de leves variações entre 2013 a 2016.

**Figura 4** - Participação Estadual no Total do Desmatamento Anual da Amazônia Legal de 2002 a 2016 (em %).

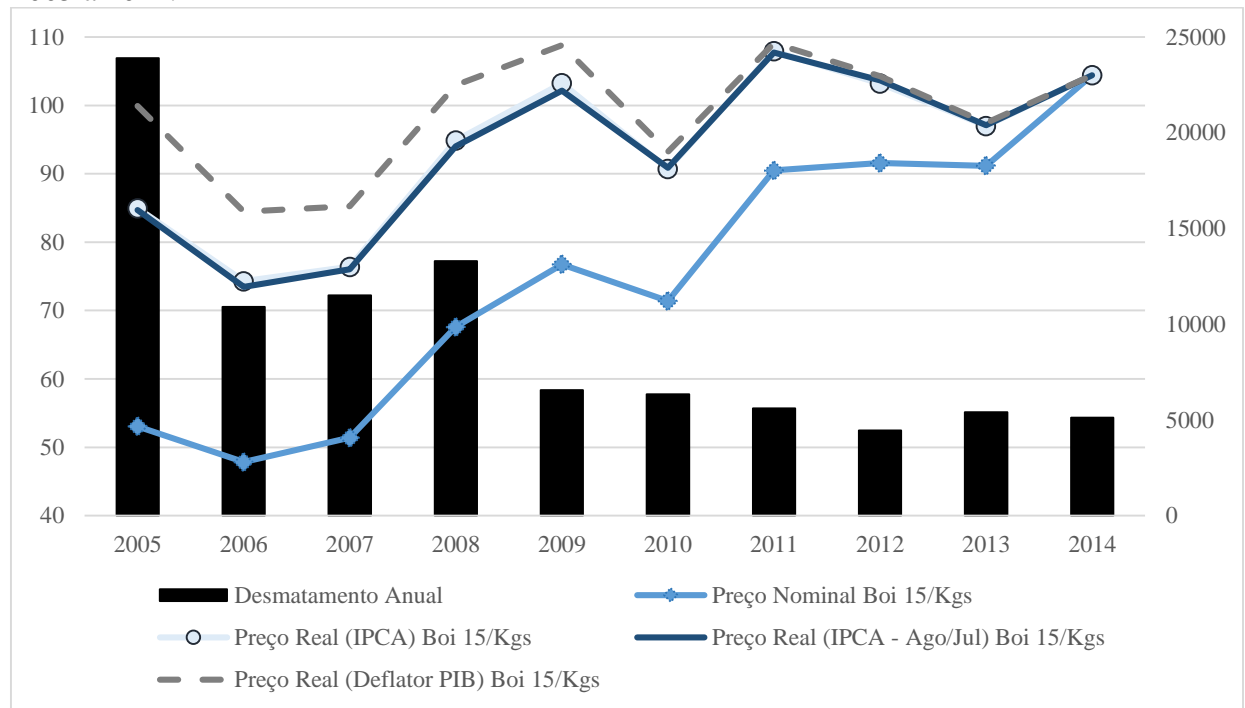


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INPE.

A Figura 5 contém a evolução da média nacional de preços do boi 15 kg/s e do desmatamento nos anos de 2005 a 2014. Os preços, além de seus valores correntes, foram

deflacionados através do Deflator Implícito do PIB e do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), tendo como base o ano de 2014. Para o IPCA, uma vez que o desmatamento é calculado de agosto a julho, o índice de inflação fora ajustado para a janela de janeiro a dezembro e agosto a julho.

**Figura 5** - Evolução do Preço do boi 15/Kg e do Desmatamento Anual na Amazônia Legal de 2005 a 2014.



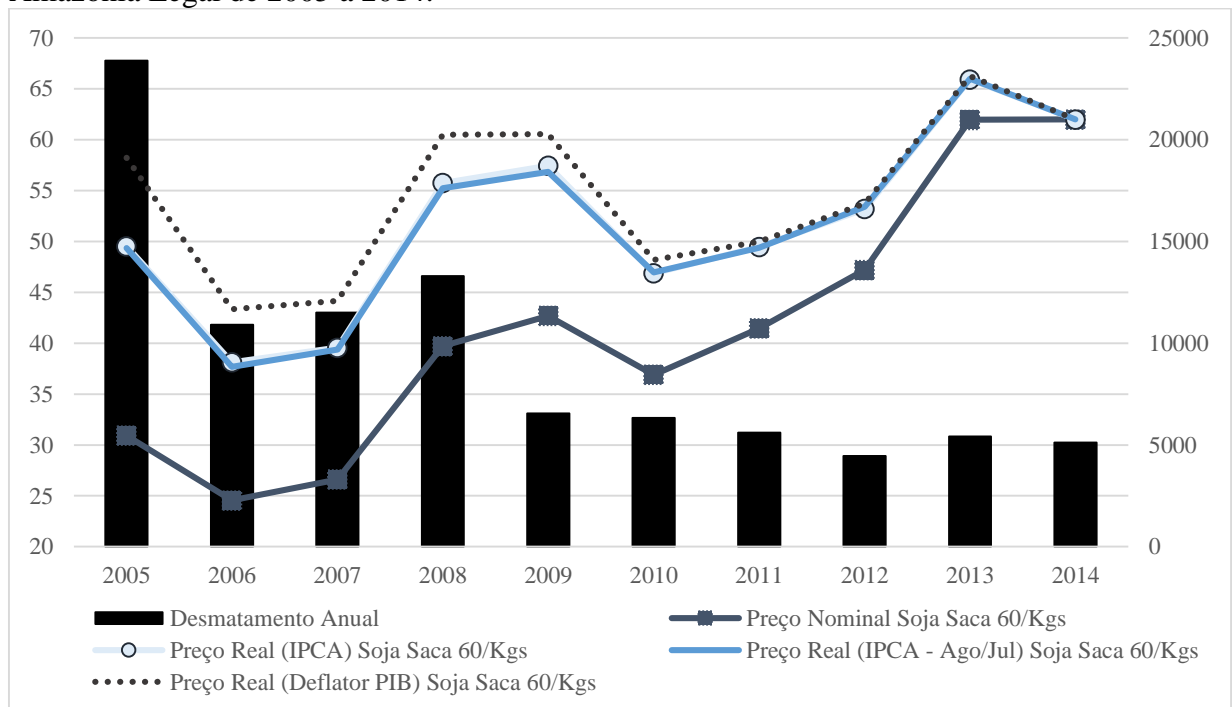
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INPE e Agrolink.

No intervalo de 2005 a 2008 os movimentos da média nacional do preço do boi 15/kg foram acompanhados pelo desmatamento anual. A queda do preço entre 2005 e 2006 fora acompanhada pela redução da área desmatada. Entre 2007 e 2008, ambas as séries voltaram a crescer. A partir de 2009, o comportamento das variáveis começa a seguir movimentos contrários. De 2010 a 2014, a elevação no nível de preços não é acompanhada pelo desmatamento. Logo, nos anos analisados nesse trabalho, a relação entre o preço do boi e o desmatamento divide-se em duas fases. Em um primeiro momento, concomitante a queda brusca do desmatamento anual no final da década de 2000, as duas variáveis caminhavam em sentidos iguais. Esse comportamento conjunto corrobora com a influência dos preços agropecuários sobre a área desmatada expressa na literatura (MARGULIS, 2003). Na segunda fase, pós 2009, o descolamento entre as variáveis confere indícios de uma possível mudança na estrutura do desmatamento. Nesse período, embora o desmatamento anual oscile, os níveis desse são inferiores a 10.000 km<sup>2</sup>, enquanto o preço bovino é superior ao registrado na primeira fase. O ano de mudança entre as duas etapas ocorre simultaneamente a importantes mudanças

institucionais que versão sobre a conservação da Floresta Amazônia (FERREIRA; COELHO, 2015; BARRETO; SILVA, 2010).

A Figura 6 apresenta o comportamento do preço da Soja por saca de 60/kg e o do desmatamento. De forma geral, esse seguiu a mesma estrutura do preço bovino. Os anos iniciais foram marcados pela relação positiva entre as variáveis. O preço da Soja e a área desmatada cresceram e decresceram nas mesmas direções. A partir de 2009, assim como ocorre com o preço do boi, a relação entre as variáveis deteriorou-se. Enquanto a área desmatada manteve-se abaixo dos 10.000 km<sup>2</sup> até 2014, o preço da saca de Soja alcançou seu maior nível do período analisado em 2013. Logo, como ocorrera com o preço bovino, o descolamento entre as séries, a partir de 2009, aponta para a mudança na relação entre desmatamento e o preço do principal produto agrícola da região.

**Figura 6** - Evolução do Preço da soja por saca de 60/Kg e do Desmatamento Anual na Amazônia Legal de 2005 a 2014.

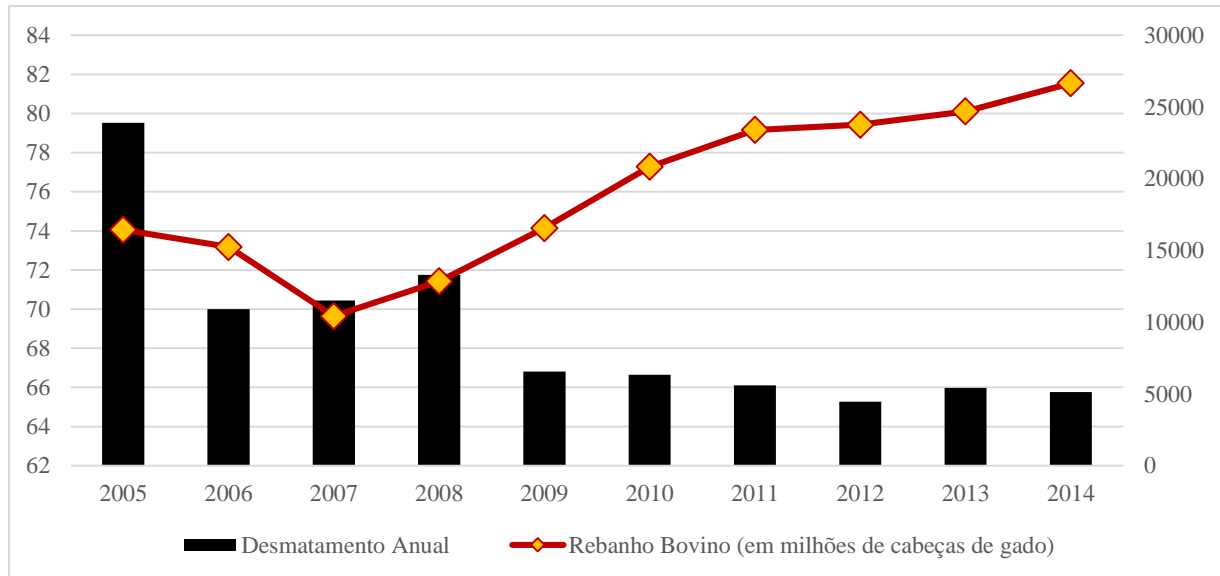


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INPE e Agrolink.

As Figuras 7 e 8 apresentam a relação entre o rebanho bovino, quantidade produzida de soja e área plantada com o desmatamento. Em ambas culturas a relação expressa segue a mesma estrutura de seus preços. Entre 2007 e 2014, o crescimento anual do rebanho bovino é contínuo e positivo. Logo, o descolamento pós 2009 entre o preço do boi e a área desmatada também ocorre com o tamanho do rebanho. Da mesma forma, o crescimento da quantidade produzida de soja pós 2009 segue a mesma estrutura de descolamento que seu preço. Cabe ainda destacar o aumento da área plantada concomitante a redução no desmatamento e aumento

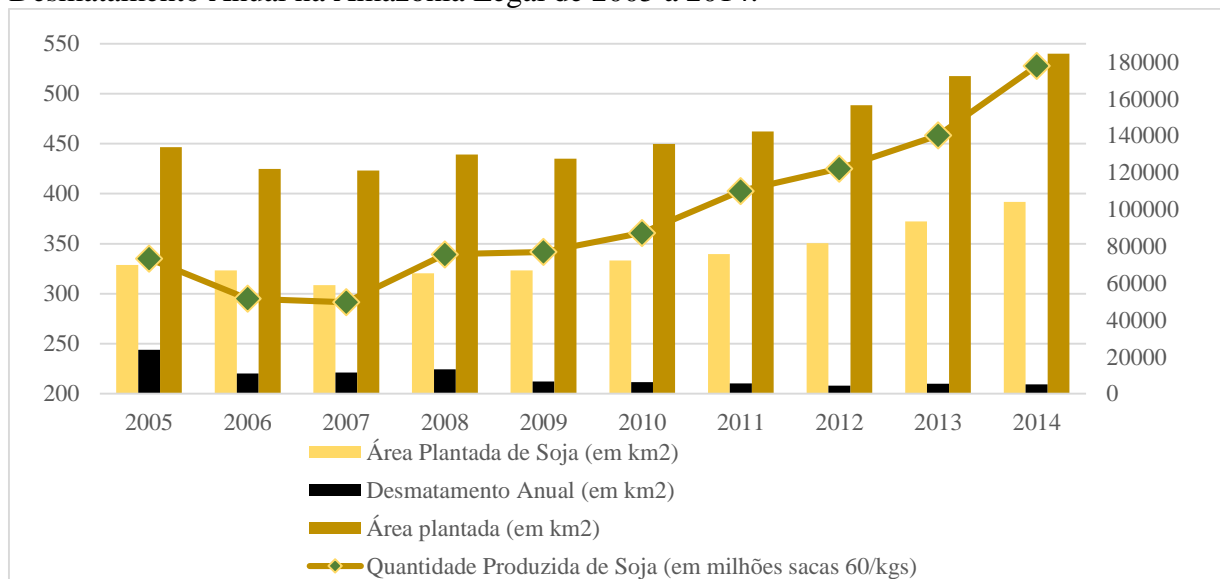
do rebanho. Esses movimentos fornecem evidências da substituição entre as áreas de pastagem por áreas de plantio. Assim, sob redução de áreas disponíveis a agropecuária, o aumento do rebanho bovino ocorre junto ao aumento da produtividade da área de pastagem. Nesse quesito, historicamente, a região exibe aumento de produtividade no uso do fator terra pela agropecuária (VALENTIM; ANDRADE, 2009). Logo, o período analisado continua sob a mesma tendência.

**Figura 7** - Evolução do Rebanho Bovino e do Desmatamento Anual na Amazônia Legal de 2005 a 2014.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INPE e IBGE.

**Figura 8** - Evolução da Área Plantada, Área Plantada de Soja, Quantidade produzida de Soja e Desmatamento Anual na Amazônia Legal de 2005 a 2014.

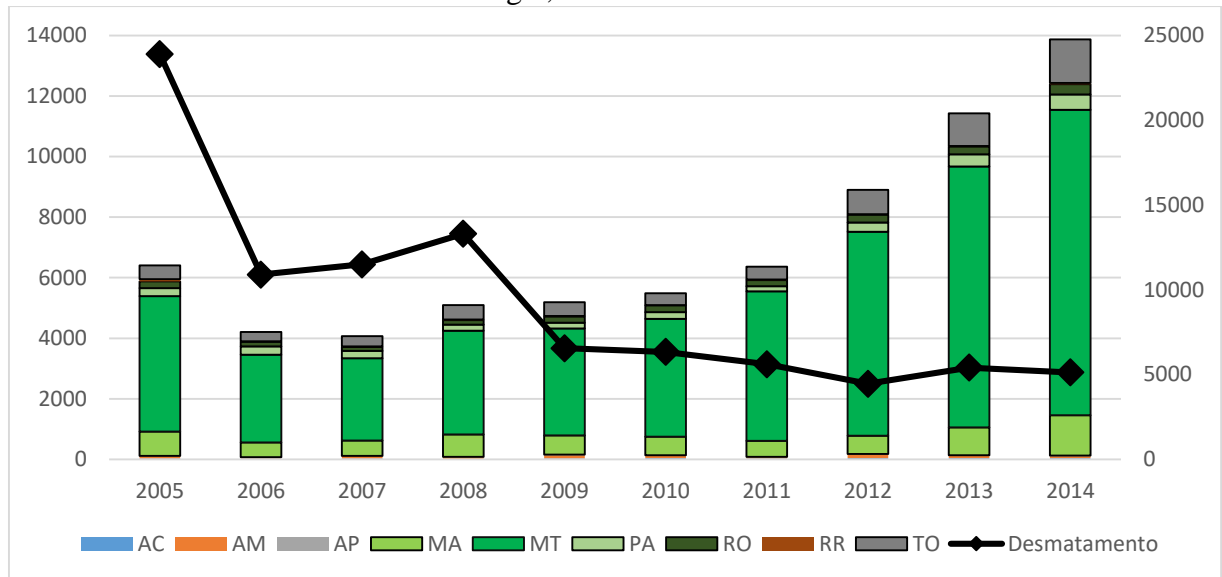


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INPE e IBGE.

Quanto a evolução do crédito, a Figura 9 apresenta a evolução do Crédito Agrícola nos Estados pertencentes a Amazônia Legal junto ao desmatamento.



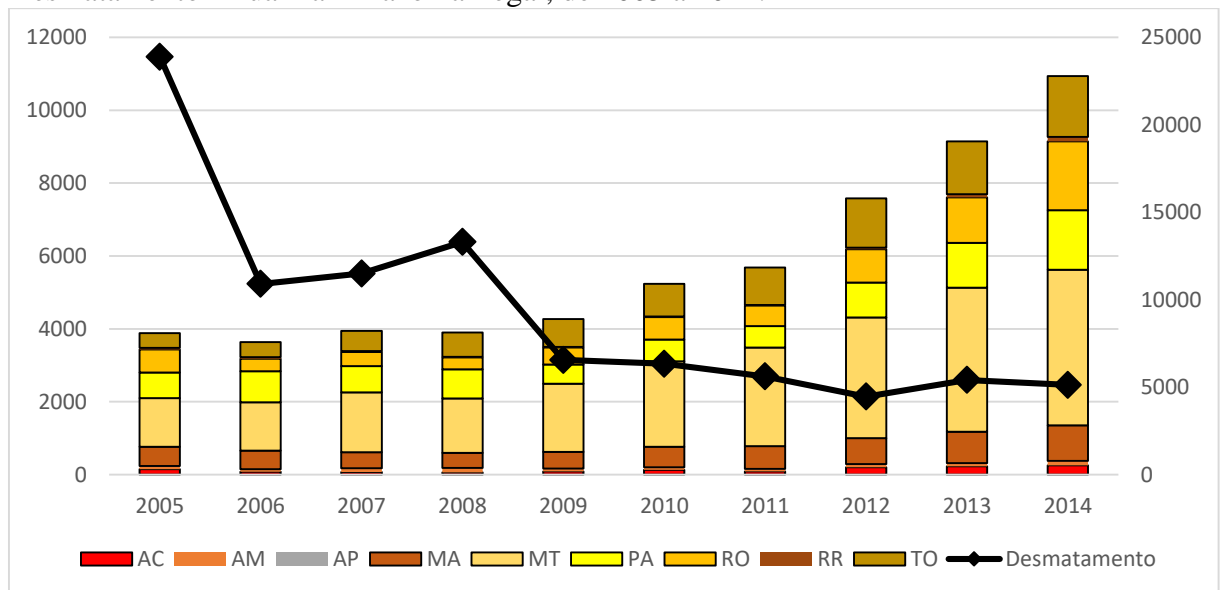
**Figura 9** - Evolução do Crédito Agrícola Estadual (à preços de 2014 e em milhões de R\$) e Desmatamento Anual na Amazônia Legal, de 2005 a 2014.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INPE e Banco Central.

Entre 2005 a 2008, os movimentos do Crédito Agrícola foram acompanhados pelo desmatamento. De 2009 em diante, o crescimento do crédito não fora acompanhado pelo crescimento da área desmatada. O descolamento das variáveis reflete as políticas de restrição do acesso ao crédito aos agentes que desmatam. Durante todo o período o Mato Grosso fora o maior receptor de crédito. O volume de Crédito Agrícola nesse Estado fora, em média, 2,54 vezes maior do que todo o crédito concedido aos demais no período. Maranhão e Tocantins figuraram como o segundo e terceiro maiores tomadores.

**Figura 10** - Evolução do Crédito Pecuário Estadual (à preços de 2014 e em milhões de R\$) e Desmatamento Anual na Amazônia Legal, de 2005 a 2014.



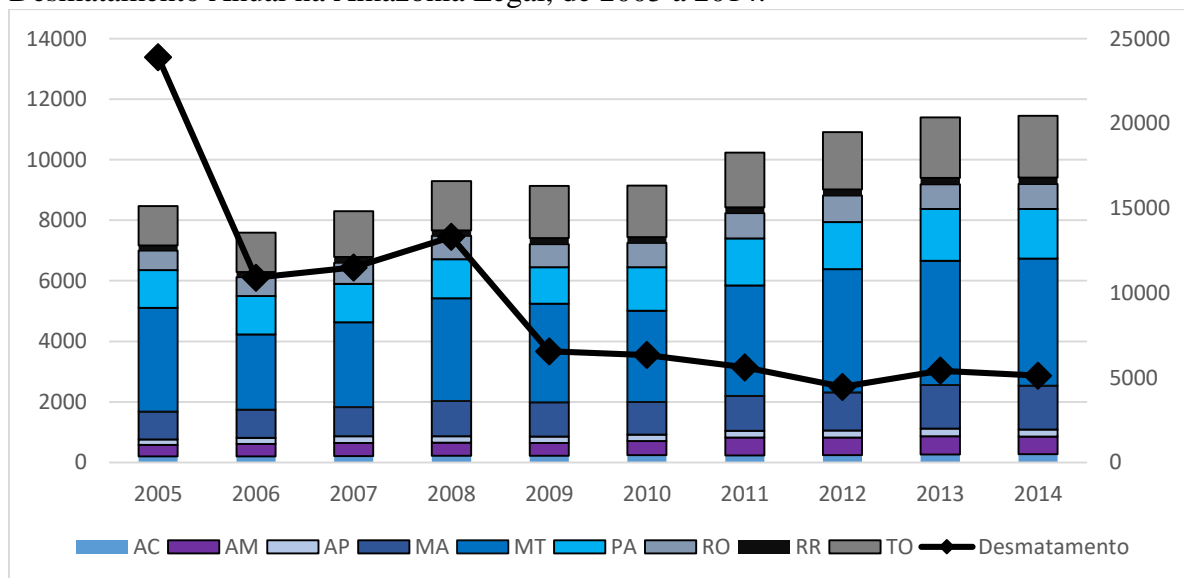
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INPE e Banco Central.

De acordo com a Figura 10, assim como ocorrera com o Crédito Agrícola, o crescimento do crédito pecuário fora acompanhado da queda do desmatamento a partir de 2009. O Mato Grosso figura como o maior receptor do crédito a pecuária. Pará, Tocantins, Maranhão e Roraima também se apresentam como grandes tomadores de crédito no período.

Logo, a resolução n ° 3.545, de 29 de fevereiro de 2009 (CONSELHO MONETÁRIO NACIONAL, 2008) aparenta ter afetado a trajetória de ambas as categorias de crédito. A ampliação dos recursos concedidos a agricultura e a agropecuária concomitantes a queda na área desmatada anual demonstra a efetividade desse tipo de política como mecanismo de conservação ambiental. Em ambas as modalidades de crédito, o Mato Grosso – maior tomador de recursos – fora o Estado onde a política apresentou maior resultado, uma vez que esse apresentou a maior redução da área desmatada. Em Tocantins e Roraima, que apresentaram expressivo crescimento de recursos pós 2009, a política de contenção ao crédito fora capaz de conter o avanço do desmatamento, dado que a área desmatada nesses passou de 674,3 km<sup>2</sup> e 105 km<sup>2</sup> em 2008 para 112,6 km<sup>2</sup> e 59,7 km<sup>2</sup> em 2009.

Quanto ao PIB *per capita* da região, a Figura 11 apresenta a evolução desse nos Estados da Amazônia Legal junto ao desmatamento.

**Figura 11** - Evolução do PIB *per capita* Estadual (à preços de 2014 e em milhares de R\$) e Desmatamento Anual na Amazônia Legal, de 2005 a 2014.

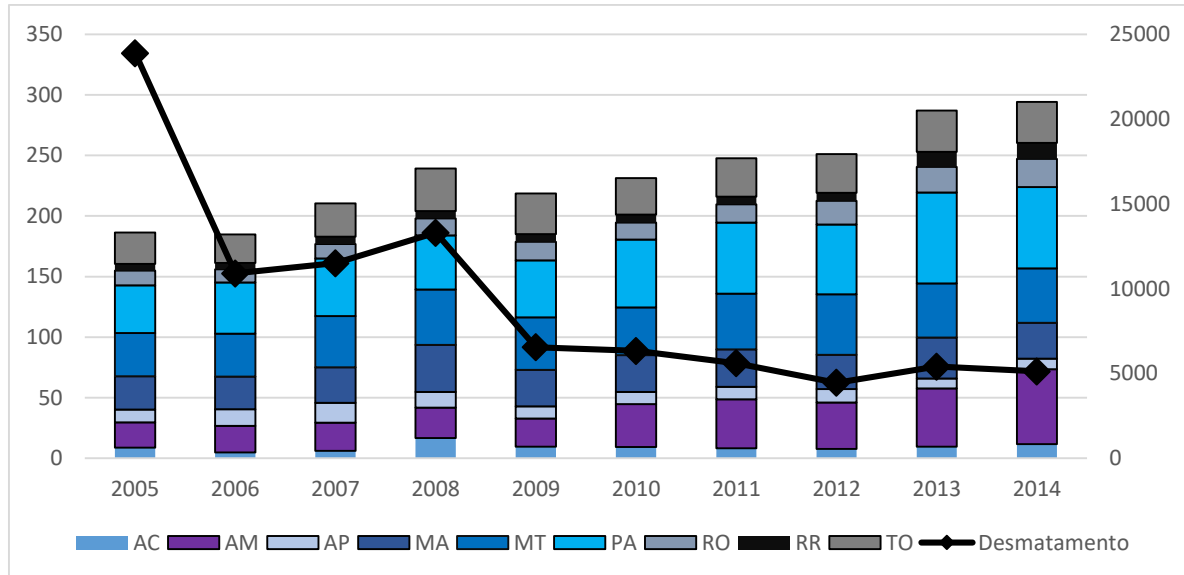


Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INPE e IBGE.

O crescimento da região concentrou-se nos Estados do Mato Grosso e Tocantins. Ambos estados que apresentaram redução abruptas do desmatamento. No contexto geral, o PIB *per capita* da região concentra-se entre Mato Grosso, Pará, Tocantins, Maranhão e Rondônia. Como apontado nas Figuras 9 e 10, os estados que mais demandam crédito agrícola e pecuário

também são os que apresentam maior nível de produção. Assim, o descolamento entre produção, crédito e desmatamento ressalta a efetividade da política ambiental sobre os municípios mais ricos.

**Figura 12** - Evolução do Valor Bruto da Produção Agrícola por km<sup>2</sup> de Área Plantada Estadual (à preços de 2014 e em milhões de R\$) e Desmatamento Anual na Amazônia Legal, de 2005 a 2014.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INPE e IBGE.

A Figura 12 apresenta o crescimento do Valor Bruto da Produção por km<sup>2</sup> de Área Plantada nos Estados. De forma geral, os estados com maior produtividade foram o Amazonas e Pará. Mato Grosso, Tocantins e Maranhão, embora detenham maior nível de produção *per capita*, não detiveram níveis tão elevados de produtividade quanto desses estados. Logo, a produtividade da terra e a produção *per capita* não necessariamente seguem tendências conjuntas na região. Nesse caso, a expansão da produção nos estados mais ricos pode ocorrer via conversão de florestas em áreas agricultáveis. Por outro lado, tanto a expansão do PIB *per capita*, quanto a produtividade cresceram junto ao desmatamento entre 2006 e 2008. Pós 2009, o descolamento entre essas variáveis aponta novamente para a efetividade das políticas de conservação adotadas em 2008.

A dinâmica entre PIB *per capita* e Valor Bruto da Produção por km<sup>2</sup> de Área Plantada e desmatamento denotam o comportamento dos regimes das equações (22) e (23). Com o crescimento dos preços e produção das culturas da soja e bovina na Amazônia Legal, associados a queda no desmatamento e elevação da produção *per capita* e produtividade, espera-se que, assim como previsto pela CKA, relação descrita nas equações (22) e (23) seja favorável a conservação do Floresta Amazônica conforme os municípios e suas atividades produtivas se

desenvolvam. Assim, os municípios mais “desenvolvidos” deteriam menores incentivos a converter áreas de floresta em produtivas.

Por outro lado, a relação aqui descrita também aponta para a efetividade das políticas de contenção ao desmatamento. A evolução das variáveis em geral fora favorável a redução do desmatamento, principalmente após 2009. Sendo assim, os resultados apontados devem ser entendidos como resultado de medidas específicas que podem não se sustentar no longo prazo. O pequeno crescimento do desmatamento em 2007 fora acompanhado de uma série de políticas de contenção no ano seguinte. Não há garantias sobre a manutenção dos *payoffs* dos produtores a médio e longo prazo.

#### 4.2 ANÁLISE ESPACIAL DO DESMATAMENTO

A análise espacial do desmatamento será realizada através dos Índices de Moran Local e Global, como comumente empregado na literatura. (BOUCHARDET; PORSSE; TIMOFEICZYK JÚNIOR, 2016). Segundo Hargraves e Kis-Katos (2011), o desmatamento na região Amazônica seria um processo auto correlacionado espacialmente. Oliveira *et al.* (2011) advogam que além do desmatamento na Amazônia Legal ser um fenômeno espacial, sua região central apresenta conjuntos de municípios com altos valores do desmatamento.

Ademais, a produção agrícola ainda aparenta ser um processo correlacionado espacialmente (ROBALINO; PFAFF, 2012; BOUCHARDET; PORSSE; TIMOFEICZYK JÚNIOR, 2016). Os produtores de uma determinada região detêm ganhos de escala conforme sua produção complementa-se com a estrutura produtiva local (ROBALINO; PFAFF, 2012). Ademais, fatores como a declividade do terreno, pluviosidade, qualidade do solo e escoamento da produção afetam diretamente a decisão de produção dos agentes. Características favoráveis à produção culminam na concentração da produção agrícola nessas regiões (BOUCHARDET; PORSSE; TIMOFEICZYK JÚNIOR, 2016). Com isso, além do desmatamento, o índice I de Moran ainda fora calculado para a Densidade do Rebanho e Participação da Área Agrícola em cada Município.

A Tabela 3 apresenta as estatísticas I de Moran<sup>11</sup>. Para análise, foram selecionados os anos: 2005, 2006, 2008, 2009, 2012 e 2014. Os anos de 2005 e 2006 foram escolhidos devido à grande redução do desmatamento anual entre si e ao impacto que a mudança institucional de 2004 acarretou nesses. Já os anos de 2008 e 2009 foram selecionados devido as alterações na legislação em prol do meio ambiente além da redução na área desmatada ocorrida entre esses

---

<sup>11</sup> Adotou-se a matriz do tipo *Queen* de ordem 1 na composição do Índice.

anos. Por fim, 2014 denota o fim da amostra e 2012 fora escolhido por ser um ano intermediário entre 2009 e 2014.

**Tabela 3** – Estatísticas I de Moran Global para o Desmatamento, Densidade do Rebanho e Participação Agrícola.

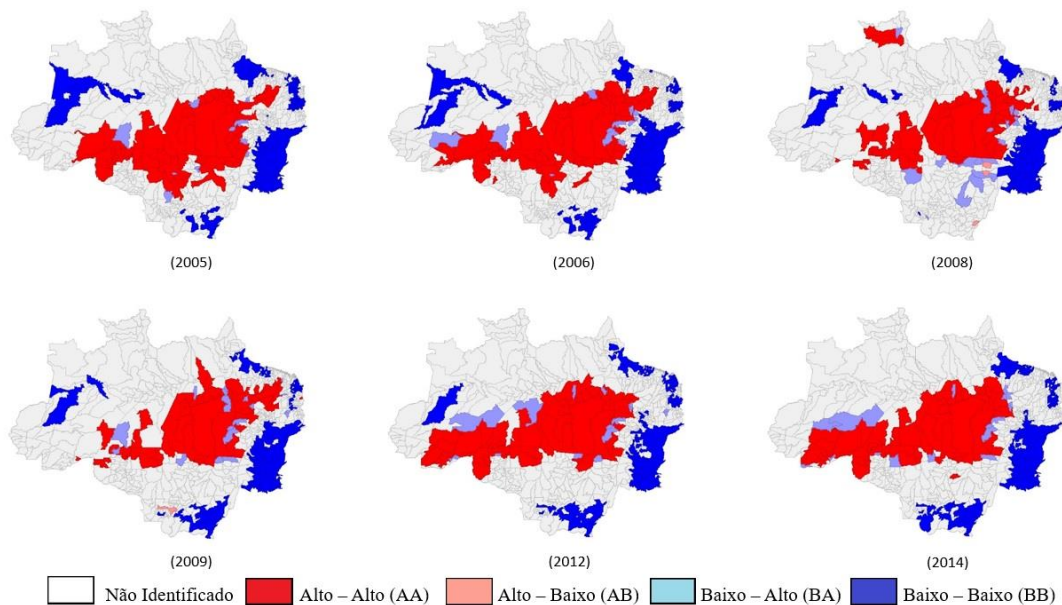
Ano	Desmatamento	Densidade do Rebanho	Participação da Área Agrícola
2005	0,4533***	0,6234***	0,4792***
2006	0,4054***	0,6324***	0,4614***
2008	0,3366***	0,3606***	0,0563**
2009	0,3438***	0,6315***	0,4901***
2012	0,4484***	0,6450***	0,5199***
2014	0,4199***	0,6497***	0,5242***

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa. <sup>ns</sup> denota a não rejeição de  $H_0$ , (\*) denota a rejeição de  $H_0$  à 10% de significância, (\*\*) denota a rejeição de  $H_0$  à 5% de significância e (\*\*\*) denota a rejeição de  $H_0$  à 1% de significância.

De acordo com a Tabela 3, todas as variáveis mostraram-se correlacionadas espacialmente em todos os períodos. Assim, o fenômeno do desmatamento, bem como a produção das culturas locais, transborda de um município para os seus vizinhos. A Estatística I de Moran ainda fora positiva em todas as variáveis e períodos. Logo, a correlação espacial positiva indica que os municípios com maiores níveis de desmatamento costumam ser vizinhos de municípios com grande incidência desse. O mesmo ocorre com a produção bovina e área plantada da soja. Tais resultados corroboram com as hipóteses de complementariedade estratégica na região de Robalino e Pfaff (2012).

A Figura 13 apresenta o Índice de Moran Local para a área desmatada anual.

**Figura 13** - I de Moran Local para o desmatamento anual nos anos de 2005, 2006, 2008, 2009, 2012 e 2014.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do INPE.

Os resultados da Figura 13 são consistentes com os exibidos em Oliveira *et al.* (2011) e Bouchardet, Porsse e Timofeiczuk (2016). Dentro da Amazônia Legal, a região que abrange

o sudeste do Acre ao oeste do Maranhão, passando por Rondônia, norte do Mato Grosso, Tocantins e sul e leste do Pará foi denominada como “Arco do Desmatamento” (FASIABEN *et al.*, 2009). Ao longo do período analisado, grande parte dessa região situou-se no padrão alto-alto (AA). Principalmente os municípios do sul e leste do Pará e ao sudeste do Amazonas. Em 2005 e 2006, parte de Roraima, o norte do Mato Grosso e o oeste do Maranhão encontravam-se junto a esse *cluster*. Já em 2008 e 2009, tais estados não apresentaram o mesmo comportamento. Logo, as medidas institucionais de 2008 alteraram tanto a trajetória do desmatamento, quanto a sua distribuição na Amazônia Legal. Entretanto, em 2012 e 2014 os municípios do norte de Roraima e do leste do Acre adentraram no *cluster* alto-alto. Assim, as medidas de proteção ambiental aparentaram perder sua efetividade ao longo do tempo.

Os municípios do Tocantins, oeste do Maranhão situaram-se como *clusters* baixo-baixo (BB), ao longo de todo o período. Segundo Bouchardet, Porsse e Timofeiczuk (2016), tais regiões não apresentam valores significativos de desmatamento desde 2002. A região sul do estado do Mato Grosso também situou-se como baixo-baixo ao longo do período. Bouchardet, Porsse e Timofeiczuk (2016) argumentam que esse comportamento deriva da expansão da fronteira agrícola rumo ao norte do estado, enquanto a região sul já consolidará sua produção.

#### 4.3 QUEBRAS ESTRUTURAIS NA SÉRIE DO DESMATAMENTO

Entre 2006 e 2014, ocorreram diversas mudanças institucionais no combate ao desmatamento na Amazônia Legal (ASSUNÇÃO *et al.*, 2012; ASSUNÇÃO *et al.*, 2013; BARRERO; SILVA, 2010; MIRAGAYA, 2013).

Assim como explorado nas seções anteriores, as mudanças ocorridas em 2004 e 2008 aparentam ter modificado a trajetória da área desmatada nos anos seguintes. Sendo assim, a existência de quebras na estrutura do desmatamento geraria estimativas das equações (22) e (23) viesadas e inconsistentes, caso não fossem devidamente tratadas. Como o modelo proposto propõem a estimação de acordo com regimes de conferidos por uma variável exógena, quebras estruturais que não tenham relação com a variável de limiar não serão tratadas por esse.

A fim de testar a presença de quebra estrutural na relação entre o desmatamento na Amazônia Legal e os incentivos à produção das culturas locais, fora realizado o teste de Chow. Tendo em vista que o primeiro ano apontado na literatura como de mudança estrutural é 2004, e a amostra começa em 2006, apenas uma quebra fora testada. No caso, a ocorrida em 2008.

A Tabela 4 contém a estatística do teste. Considerou-se o ano de 2009 como o ponto de mudança de regime. Essa medida deve-se a janela de mensuração do desmatamento. Como a área desmatada do ano  $t$  é medida de agosto de  $t-1$  a julho de  $t$ , a mudança estrutural deveria ter ocorrido entre agosto de 2007 a julho de 2008. Entretanto, fora a partir do desmatamento de novembro de 2007 que as medidas do período foram formuladas e propostas (BARRETO; SILVA, 2010). A criação da lista negra do desmatamento ocorreu em janeiro de 2008, mas o início das operações deu-se em março desse mesmo ano. Já os novos requerimentos de acesso ao crédito tornaram-se obrigatórios em julho de 2008, embora a resolução fora publicada em fevereiro de 2008 (ASSUNÇÃO *et al.*, 2013).

Logo, os efeitos das novas regras institucionais sobre o desmatamento começaram a deter maior influência a partir do segundo trimestre de 2008. Para o caso da estimação proposta nesse trabalho, os efeitos deterão maior influência da janela de 2009 (agosto de 2008 a julho de 2009) em diante.

**Tabela 4** - Teste de Chow para a Quebra Estrutural da relação entre Desmatamento e Variáveis Econômicas das Culturas na Amazônia Legal.

Ano da Quebra	Equação	Estatística F	Valor Crítico do teste F a 10% de Significância	Valor Crítico do teste F a 5% de Significância	Valor Crítico do teste F a 1% de Significância
2009	(22)	31,59177***	1,7183	2,0120	2,6441
2009	(23)	21,43165***	1,7757	2,1010	2,8068

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa. <sup>ns</sup> denota a não rejeição de  $H_0$ , (\*) denota a rejeição de  $H_0$  à 10% de significância, (\*\*) denota a rejeição de  $H_0$  à 5% de significância e (\*\*\*) denota a rejeição de  $H_0$  à 1% de significância.

De acordo com a tabela 4, o resultado do teste aponta para a existência de uma quebra estrutural no ano de 2009. O resultado do teste confirma as evidências encontradas pelos demais trabalhos na literatura. Ademais, o resultado do teste indica que os parâmetros do período pré-2009 são diferentes dos parâmetros pós-2009. Esse resultado demonstra que as mudanças na legislação alteraram não só a trajetória do desmatamento. A relação desse com a expansão das culturas agropecuárias locais também se modificou. Logo, as alterações na legislação foram eficientes em alterar os aspectos microeconômicos da decisão do uso da terra. Expandir ilegalmente a área agricultável sobre um conjunto de leis mais efetivas apresenta ganhos esperados menores, de modo a reduzir os incentivos a desmatar.

Sendo assim, para adequar a estimação das equações (22) e (23) a esse condicionante, estimou-se essas em duas equações, a primeira de 2006 a 2008 e a segunda de 2009 a 2014.

#### 4.4 TESTE DE LINEARIDADE COM VARIÁVEL LIMIAR

A fim de verificar a existência de quebras estruturais nas equações (22) e (23) de acordo com os valores da variável limiar, realizou-se o teste proposto por Hansen (1999)<sup>12</sup>. As Tabelas 5 e 6 contém os resultados dos testes para as variáveis de limiar PIB *per capita* e produtividade agrícola.

**Tabela 5** - Testes F para existência de efeitos da Variável de Limiar PIB *per capita* nas equações do desmatamento.

Modelo	Período	Número de Limiares	Estatística	Valor Crítico de F para 10% de Significância	Valor Crítico de F para 5% de Significância	Valor Crítico de F para 1% de Significância
(22)	2006 - 2008	1	46,29***	32,14	35,94	45,66
(22)	2006 - 2008	2	-	-	-	-
(23)	2006 - 2008	1	34,15**	29,66	33,93	42,39
(23)	2006 - 2008	2	-	-	-	-
(22)	2009 - 2014	1	40,76***	26,66	29,16	34,53
(22)	2009 - 2014	2	34,99**	24,13	27,75	33,39
(23)	2009 - 2014	1	36,77***	23,36	26,32	32,64
(23)	2009 - 2014	2	34,29*	27,31	34,49	43,42

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa. <sup>ns</sup> denota a não rejeição de  $H_0$ , (\*) denota a rejeição de  $H_0$  à 10% de significância, (\*\*) denota a rejeição de  $H_0$  à 5% de significância e (\*\*\*) denota a rejeição de  $H_0$  à 1% de significância. Os valores dos testes para dois limiares no período de 2006 a 2008 não foram reportados pelo programa estatístico, em ambas as equações.

De acordo com os dados da Tabela 5, ambas equações apresentam pelo menos um ponto de mudança dado os valores do PIB *per capita*, nos períodos anteriores e posteriores a quebra estrutural de 2009. Logo, os efeitos dos incentivos à agropecuária sobre o desmatamento não são homogêneos ao longo dos municípios da Amazônia Legal. As mudanças institucionais de 2008 não alteraram esse perfil, uma vez em que nos dois períodos analisados o teste apontou a existência de quebras de acordo com a variável de limiar.

<sup>12</sup> Os testes e a estimação dos modelos foram feitos com o processo de minimização da somatória dos quadrados dos resíduos com a divisão da amostra entre 300 *quantis*. Cada regime deve deter no mínimo 1% da amostra e os testes *F* foram construídos com 300 simulações de *bootstrap*.



**Tabela 6** - Testes F para existência de efeitos da Variável de Limiar Produtividade Agrícola nas equações do desmatamento.

Modelo	Período	Número de Limiares	Estatística	Valor Crítico de F para 10% de Significância	Valor Crítico de F para 5% de Significância	Valor Crítico de F para 1% de Significância
(22)	2006 - 2008	1	68,75***	34,56	38,13	48,07
(22)	2006 - 2008	2	-	-	-	-
(23)	2006 - 2008	1	66,31***	29,87	35,07	42,72
(23)	2006 - 2008	2	-	-	-	-
(22)	2009 - 2014	1	27,35*	25,40	30,76	36,96
(22)	2009 - 2014	2	20,71 <sup>ns</sup>	24,47	28,86	35,42
(23)	2009 - 2014	1	21,96*	21,41	24,46	27,65
(23)	2009 - 2014	2	17,64 <sup>ns</sup>	20,83	23,03	28,49

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa. <sup>ns</sup> denota a não rejeição de H<sub>0</sub>, (\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 10% de significância, (\*\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 5% de significância e (\*\*\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 1% de significância. Os valores dos testes para dois limiares no período de 2006 a 2008 não foram reportados pelo programa estatístico, em ambas as equações.

Quanto a segunda variável de limiar, a Produtividade Agrícola, os resultados indicaram uma estrutura semelhante à do PIB *per capita*. Em todos os modelos estimados, uma não linearidade fora identificada. Assim, a produtividade agrícola condicionaria o impacto das culturas primárias da Amazônia Legal sobre o desmatamento. Os resultados ainda apontaram que os municípios da região podem ser divididos entre dois grupos.

#### 4.5 LIMIARES E ESTIMAÇÃO DAS FUNÇÕES DO DESMATAMENTO

As Tabelas 7 e 8 contém os valores que delimitam os grupos de acordo com a Produtividade Agrícola e PIB *per capita*.

**Tabela 7** - Valores Limiares da Variável PIB *per capita*. (em logaritmo neperiano).

Modelo	Período	Limiar do PIB <i>per capita</i>	Intervalo de Confiança da Variável de Limiar (95%)	Valor do Limiar da PIB <i>per capita</i> em R\$ (valores de 2014)	Limiar do PIB <i>per capita</i>	Intervalo de Confiança da Variável de Limiar (95%)	Valor do Limiar da PIB <i>per capita</i> em R\$ (valores de 2014)
(22)	2006 - 2008	8,31	8,29 - 8,35	4.064,31	-	-	-
(22)	2009 - 2014	8,37	8,36 - 8,39	4.315,63	8,70	8,70 - 8,71	6.002,91
(23)	2006 - 2008	8,17	8,14 - 8,22	3.533,34	-	-	-
(23)	2009 - 2014	8,37	8,36 - 8,52	4.315,63	8,70	8,70 - 8,71	6.002,91

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa. <sup>ns</sup> denota a não rejeição de H<sub>0</sub>, (\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 10% de significância, (\*\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 5% de significância e (\*\*\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 1% de significância.

De 2006 a 2008, o valor que delimita os grupos fora R\$ 4.064,31 para a equação (22) e R\$ 3.533,34 para a equação (23). Para o segundo período, de 2009 a 2014, ambas equações apresentaram limiares de R\$ 4.315,63 entre o primeiro e segundo grupo e R\$ 6.002,91 entre o segundo e terceiro, em termos de PIB *per capita*.

**Tabela 8 - Valores Limiars da Variável Produtividade Agrícola (em logaritmo neperiano).**

Modelo	Período	Limiar da Produtividade Agrícola (em logaritmo natural)	Intervalo de Confiança da Variável de Limiar (95%) (em logaritmo natural)	Valor do Limiar da Produtividade Agrícola em R\$ (valores de 2014)
(22)	2006 – 2008	11,34	-	84.120,03
(22)	2009 – 2014	13,67	13,64 - 13,73	864.580,76
(23)	2006 – 2008	11,34	-	84.120,03
(23)	2009 – 2014	11,87	11,83 - 11,90	142.914,23

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa. <sup>ns</sup> denota a não rejeição de  $H_0$ , (\*) denota a rejeição de  $H_0$  à 10% de significância, (\*\*) denota a rejeição de  $H_0$  à 5% de significância e (\*\*\*) denota a rejeição de  $H_0$  à 1% de significância. Os valores dos intervalos de confiança para os limiars no período de 2006 a 2008 não foram reportados pelo programa estatístico, em ambas as equações.

A Tabela 8 apresenta os valores limiars da Produtividade Agrícola. Ambos os modelos do período de 2006 a 2008 detiveram limiars de R\$ 84.120,03. Para o período de 2009 a 2014, diferentemente do que ocorrera com o PIB *per capita*, ambos modelos apresentaram apenas um limiar. Apesar da mesma estrutura de inflexão, o valor do limiar da equação (22) é 604,96% maior do que o da equação (23).

**Tabela 9 - Estimação da Função do Desmatamento com Variável de Limiar PIB *per capita* para 2006 a 2008 (Erros Padrões Robustos com clusters).**

Variável (em logaritmo natural)	Regime	Coefficiente Equação (22)	Erro Padrão Equação (22)	Coefficiente Equação (23)	Erro Padrão Equação (23)
Constante	-	16,0447***	5,4830	17,7064***	5,2400
Participação Floresta	-	0,2237***	0,0663	0,2413***	0,0688
Quantidade Soja Produzida	-	0,0681*	0,0346	0,0671*	0,0343
Preço Soja saca 60/kg <sub>t-1</sub>	1	5,4740*	2,7933	16,3284**	6,8505
	2	1,8322**	0,8342	2,1868***	0,7974
Preço Boi 15/kg <sub>t-1</sub>	1	-9,1460***	3,2802	-20,6604***	7,0177
	2	-6,3595***	1,9493	-7,1553***	1,8510
Crédito Pecuário/Área Municipal – Área Floresta	1	-0,1854**	0,0929	-	-
	2	-0,0830 <sup>ns</sup>	0,0521	-	-
Crédito Agrícola/Área Municipal – Área Floresta	1	0,0915 <sup>ns</sup>	0,1961	-	-
	2	0,0199 <sup>ns</sup>	0,0206	-	-
Crédito Pecuário/Rebanho	1	-	-	0,2066 <sup>ns</sup>	0,4239
	2	-	-	-0,0692*	0,0376
Crédito Agrícola/Área Plantada da Soja	1	-	-	0,3904 <sup>ns</sup>	0,2574
	2	-	-	0,0064 <sup>ns</sup>	0,0138
Rebanho/Área Municipal	1	-0,8122***	0,2427	-	-
	2	-0,1157 <sup>ns</sup>	0,1179	-	-
Observações		927		927	
Teste F		8,68***		19,65***	

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa. <sup>ns</sup> denota a não rejeição de  $H_0$ , (\*) denota a rejeição de  $H_0$  à 10% de significância, (\*\*) denota a rejeição de  $H_0$  à 5% de significância e (\*\*\*) denota a rejeição de  $H_0$  à 1% de significância.

A Tabela 9 contém a estimação da função (22) e (23) para o período de 2006 a 2008. De forma geral, como o esperado, a cultura da soja fora indutora do desmatamento. Variações na quantidade produzida relacionaram-se ao aumento da área desmatada, assim como o preço pago pela saca de 60 quilogramas dessa *commodity*. Nesse aspecto, embora os parâmetros para

o preço difiram em ambas as equações, o estímulo que as variações de preço conferem ao desmatamento fora inferior no segundo regime em comparação ao primeiro. Logo, as variações no preço da soja no período  $t-1$  tenderam a gerar maiores níveis de desmatamento em  $t$  nos municípios com menores níveis de produto *per capita*. A influência do preço sobre o desmatamento se dá na receita em que os produtores esperam obter pela produção. A dinâmica própria da agricultura faz com que o preço relevante para a definição da área plantada seja de um período anterior (ASSUNÇÃO et al., 2012). Sendo assim, a diferença dos parâmetros entre os regimes indica que os produtores dos municípios mais desenvolvidos – que comumente devem ser mais produtivos do que os demais, dado o caráter da produção na região – respondem a variações de preço de forma menos biodegradável a Floresta Amazônica. Esse comportamento corrobora com a hipótese do desmatamento da Amazônia comporta-se como um “U” invertido, em relação ao desenvolvimento.

Embora a produção da soja tenha se comportado de acordo com a Curva de Kuznets Ambiental, a produção pecuária na Amazônia apresentou resultados que seguem por outra direção. Assim como em Bouchardet, Porsse e Timofeiczuk Júnior (2016), Ferreira e Coelho (2015) e Assunção et al. (2012), o impacto de variações positivas no preço bovino de  $t-1$  acarretaria em reduções do desmatamento. Assunção et al. (2012) advoga que a produção de gado possui uma dinâmica própria, sendo produtora de bens de consumo e de capital ao mesmo tempo. Variações de preço concebidas como temporárias aumentam a quantidade abatida de gado e reduzem a pressão sobre a floresta. Sendo assim, o parâmetro negativo justifica-se pela dinâmica entre o consumo e a produção (BOUCHARDET; PORSSE; TIMOFEICZYK JÚNIOR, 2016). Entretanto, a elasticidade do segundo regime fora superiora a elasticidade do primeiro. Assim, embora a elevação do preço seja compatível com a redução do desmatamento, a redução da pressão sobre a floresta ocorre em menor escala nos municípios de maior produção.

Ainda tratando do impacto da atividade pecuária. O parâmetro relativo a densidade do rebanho no segundo regime fora não significativo, enquanto esse fora negativo no primeiro. Embora esperasse que o impacto do aumento do rebanho culminasse em aumento da participação da área desmatada, assim como ocorrera em períodos anteriores a 2006 (DINIZ et al., 2009), a função aqui estimada corresponde a um período entre importantes mudanças institucionais.

Por fim, as duas equações para o período detinham medidas diferentes de crédito. Mesmo assim, ambas apresentaram comportamentos semelhantes. O crescimento do crédito agrícola não se relacionou com as alterações no desmatamento, em ambos os grupos de

municípios. O mesmo não ocorrera para o crédito a pecuária. A equação (22) apontou para o impacto negativo do crédito no primeiro regime enquanto a equação (23) para o segundo regime. Logo, o aumento da densidade de crédito por área do município aparentou estar relacionado a retração do desmatamento nos municípios de menor renda, enquanto o crédito por cabeça de gado relacionou-se a reduções do desmatamento nos municípios mais ricos.

De qualquer forma, o período que ambas as equações representam ocorreram entre duas importantes mudanças institucionais. Logo, seus parâmetros refletem apenas o modo pelo qual os produtores se adaptaram a essas mudanças. Nesse aspecto, o impacto do PPCDAm aparenta ter maior influência sobre a atividade pecuária do que a atividade agrícola. Enquanto o aumento do rebanho e do crédito não esteve ligado a variações positivas do desmatamento, o aumento da produção de soja impactou diretamente a área desmatada. Ademais, com o retorno da aceleração do desmatamento em novembro de 2007, a promoção de novas políticas de contingenciamento 2008 alterou novamente a percepção dos produtores sob os estímulos a desmatar, como demonstrado na seção anterior.

**Tabela 10** - Estimação da Função do Desmatamento com Variável de Limiar PIB *per capita* para 2009 a 2014 (Erros Padrões Robustos com clusters)

Variável (em logaritmo natural)	Regime	Coefficiente Equação (22)	Erro Padrão Equação (22)	Coefficiente Equação (23)	Erro Padrão Equação (23)
Constante	-	-1,9427 <sup>ns</sup>	1,2275	-1,7080 <sup>ns</sup>	1,1624
Participação Floresta	-	1,3910***	0,1329	1,4059***	0,0131
Quantidade Soja Produzida	-	0,0277**	0,0133	0,0269**	0,0132
Preço Soja saca 60/kg <sub>t-1</sub>	1	3,5518**	1,7890	3,0524*	1,5762
	2	1,4735***	0,4477	1,4843***	0,4363
	3	0,4184***	0,1295	0,4090***	0,1289
Preço Boi 15/kg <sub>t-1</sub>	1	-3,6344**	1,5775	-3,2771**	1,4393
	2	-2,0708***	0,5026	-1,9738***	0,5092
	3	-1,1164***	0,2644	-1,0855***	0,2626
Crédito Pecuário/Área Municipal – Área Floresta	1	-0,3117***	0,0801	-	-
	2	0,0223 <sup>ns</sup>	0,0577	-	-
	3	-0,0191 <sup>ns</sup>	0,0246	-	-
Crédito Agrícola/Área Municipal – Área Floresta	1	0,1645**	0,0812	-	-
	2	0,0379 <sup>ns</sup>	0,0412	-	-
	3	-0,0263 <sup>ns</sup>	0,0200	-	-
Crédito Pecuário/Rebanho	1	-	-	-0,2900***	0,0656
	2	-	-	0,0416 <sup>ns</sup>	0,0557
	3	-	-	-0,0227 <sup>ns</sup>	0,0260
Crédito Agrícola/Área Plantada da Soja	1	-	-	0,1242*	0,0691
	2	-	-	-0,0321 <sup>ns</sup>	0,0221
	3	-	-	-0,0212 <sup>ns</sup>	0,0154
Rebanho/Área Municipal	1	0,4351***	0,1160	-	-
	2	0,0935 <sup>ns</sup>	0,0931	-	-
	3	0,1040 <sup>ns</sup>	0,1157	-	-
Observações		1854		1854	
Teste F		12,95***		17,53***	

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa. <sup>ns</sup> denota a não rejeição de H<sub>0</sub>, (\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 10% de significância, (\*\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 5% de significância e (\*\*\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 1% de significância.

Com relação a estimação das equações (22) e (23) para o período de 2009 a 2014 ressalta-se que, diferentemente do período anterior, duas não linearidades foram encontradas. Assim, levantou-se a hipótese de comportamento em forma de “N” para o desmatamento. Sob as hipóteses desse trabalho, os parâmetros do terceiro regime deveriam ser superiores aos do segundo, entretanto, verificou-se que esses eram inferiores ou não significativos. Assim, a evidência encontrada corrobora com a existência de dois pontos de inflexão entre os regimes, mas não no formato de “N”. O terceiro regime apenas acentua a queda registrada no segundo.

Os parâmetros dos preços defasados apresentaram a mesma estrutura do período anterior. Conforme o PIB *per capita* elevou-se, os estímulos a desmatar provenientes da cultura de soja reduziram. As variações positivas no preço bovino detiveram impacto negativo sobre o desmatamento, embora a magnitude dessa relação seja maior nos menores níveis de renda *per capita*.

A estimação das equações (22) e (23) ainda apontou para o impacto positivo da quantidade produzida de soja sobre a área desmatada, enquanto a densidade do rebanho apresentou impacto positivo no regime inicial. Sendo assim, nos municípios com os menores níveis de renda, o aumento do rebanho se dá via expansão da área de pastagem. Ademais, em ambas as equações, a expansão do crédito pecuário esteve associada a queda do desmatamento nos municípios do primeiro regime. Nos regimes posteriores, a relação entre as duas não fora significativa. Já o crédito agrícola apresentou comportamento contrário. O primeiro regime apresentou impacto positivo dessa variável sobre o desmatamento, enquanto nos demais a relação não fora significativa. Logo, tais parâmetros ressaltam a efetividade das políticas adotadas em 2008, uma vez que a concessão de crédito é comumente associada ao aumento da área desmatada em períodos anteriores a 2004 (FERREIRA; COELHO, 2015). As exigências impressas pela resolução nº 3.545 de 29 de fevereiro de 2008 (CONSELHO MONETÁRIO NACIONAL, 2008) sobre a dinâmica do desmatamento reduziu o impacto das culturas locais sobre a floresta. Entretanto, o impacto da mudança na legislação restringiu-se aos municípios do segundo e terceiro regime, ou seja, com maior produção.

Portanto, entre 2009 e 2014, estabeleceu-se um novo regime. Assim como no primeiro período, a divisão entre os regimes deu-se por volta de R\$ 4.000,00, em ambos os modelos. O novo regime ocorrera a partir de R\$ 6.002,91. De forma geral, o terceiro regime manteve a estrutura de redução do impacto das culturas sobre a floresta do segundo regime, além de apresentar menores impactos dada variações de preço. Assim, a existência de dois pontos de quebra estaria associada ao comportamento de “U” invertido previsto pela CKA, com um novo

ponto de quebra que não altera a trajetória de mitigação. Logo, as evidências encontradas apontam para

A evolução e o impacto das políticas públicas também não foram iguais em todos os municípios. No primeiro período, os municípios com menor PIB *per capita* apresentaram estruturas compatíveis com a redução do desmatamento. No segundo período, os parâmetros do primeiro regime estiveram associados a elevação do desmatamento dada o aumento da produção das culturas agrícolas. Logo, após a redução anual das taxas de área desmatada, o período de estabilidade que seguiu de 2009 em diante fora associado ao retorno entre a expansão das culturas produtivas em direção a floresta, por parte dos municípios mais pobres.

**Tabela 11** - Estimação da Função do Desmatamento com Variável de Limiar Produtividade Agrícola para 2006 a 2008 (Erros Padrões Robustos com clusters).

Variável (em logaritmo natural)	Regime	Coefficiente Equação (22)	Erro Padrão Equação (22)	Coefficiente Equação (23)	Erro Padrão Equação (23)
Constante	-	15,2671***	5,3501	14,4034***	5,3524
Participação Floresta	-	0,2431***	0,0733	0,2484***	0,0719
Quantidade Soja Produzida	-	0,0663*	0,0346	0,0653*	0,0343
Preço Soja saca 60/kg <sub>t-1</sub>	1	9,4446***	2,6810	10,3244***	2,9494
	2	1,7707**	0,8159	1,7235**	0,8137
Preço Boi 15/kg <sub>t-1</sub>	1	-14,5309***	3,0508	-16,1597***	3,2117
	2	-6,0805***	1,9024	-6,0126***	1,8906
Crédito Pecuário/Área Municipal – Área Floresta	1	-0,2193 <sup>ns</sup>	0,1862	-	-
	2	-0,0884 <sup>ns</sup>	0,0451	-	-
Crédito Agrícola/Área Municipal – Área Floresta	1	1,1935***	0,3349	-	-
	2	0,01229 <sup>ns</sup>	0,0220	-	-
Crédito Pecuário/Rebanho	1	-	-	-0,2045 <sup>ns</sup>	0,2661
	2	-	-	-0,0603 <sup>ns</sup>	0,0378
Crédito Agrícola/Área Plantada da Soja	1	-	-	1,2231***	0,3240
	2	-	-	0,0035 <sup>ns</sup>	0,0138
Rebanho/ Área Municipal	1	-0,2575 <sup>ns</sup>	0,4338	-	-
	2	-0,1561 <sup>ns</sup>	0,1091	-	-
Observações		927		927	
Teste F		33,99***		19,46***	

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa. <sup>ns</sup> denota a não rejeição de H<sub>0</sub>, (\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 10% de significância, (\*\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 5% de significância e (\*\*\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 1% de significância

A Tabela 11 apresenta a equação (22) e (23) estimadas com a produtividade agrícola como variável de limiar.

Assim como ocorrera no caso do PIB *per capita*, no segundo regime, o preço da soja apresenta impactos menores sobre a área desmatada. O preço do bovino também apresentou a mesma estrutura: ambos os parâmetros foram negativos e o coeficiente fora inferior no segundo regime.

O crédito pecuário, assim como a densidade do rebanho, não apresentou parâmetros significativos, em todos os regimes dos dois modelos. Já o crédito agrícola deteve parâmetros significativos e positivos no primeiro regime de ambas as equações.

Portanto, assim como o esperado, a medida em que a produtividade agrícola elevou-se, os estímulos a conversão de floresta em áreas produtivas reduziram-se. Esse fenômeno ocorrera principalmente sobre a cultura da soja. A cultura bovina não fora efetivamente afetada pela elevação da produtividade agrícola, uma vez que os parâmetros relacionados a pecuária não foram significativos. Nesse sentido, embora as equações estimadas versem sobre um período de transição entre dois grandes conjuntos de mudanças no combate ao desmatamento, os ganhos de produtividade no setor agrário da Amazônia Legal detiveram a capacidade de corroborar com a redução do desmatamento.

**Tabela 12** - Estimação da Função do Desmatamento com Variável de Limiar Produtividade Agrícola para 2009 a 2014 (Erros Padrões Robustos com *clusters*).

Variável (em logaritmo natural)	Regime	Coefficiente Equação (22)	Erro Padrão Equação (22)	Coefficiente Equação (23)	Erro Padrão Equação (23)
Constante	-	-2,5913**	1,2130	-1,7689 <sup>ns</sup>	1,1492
Participação Floresta	-	1,4902***	0,1316	1,1461***	0,1341
Quantidade Soja Produzida	-	0,0283**	0,0126	0,0259**	0,0128
Preço Soja saca 60/kg <sub>t-1</sub>	1	0,6236***	0,1240	1,7595***	0,4206
	2	-0,5128 <sup>ns</sup>	0,4513	0,4455***	0,1211
Preço Boi 15/kg <sub>t-1</sub>	1	-1,1286***	0,2613	-2,3097***	0,4729
	2	0,0081 <sup>ns</sup>	0,4283	-1,0831***	0,2600
Crédito Pecuário/Área Municipal – Área Floresta	1	-0,0253 <sup>ns</sup>	0,0253	-	-
	2	-0,0327 <sup>ns</sup>	0,0632	-	-
Crédito Agrícola/Área Municipal – Área Floresta	1	-0,0118 <sup>ns</sup>	0,0187	-	-
	2	-0,1933***	0,0441	-	-
Crédito Pecuário/Rebanho	1	-	-	-0,1478*	0,0892
	2	-	-	-0,0152 <sup>ns</sup>	0,0236
Crédito Agrícola/Área Plantada da Soja	1	-	-	0,0936 <sup>ns</sup>	0,0614
	2	-	-	-0,0226 <sup>ns</sup>	0,0138
Rebanho/ Área Municipal	1	0,1150 <sup>ns</sup>	0,1077	-	-
	2	0,1311 <sup>ns</sup>	0,1242	-	-
Observações		1854		1854	
Teste F		16,61***		17,24***	

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa. <sup>ns</sup> denota a não rejeição de H<sub>0</sub>, (\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 10% de significância, (\*\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 5% de significância e (\*\*\*) denota a rejeição de H<sub>0</sub> à 1% de significância.

Quanto ao período pós 2009, ocorreram algumas mudanças em comparação ao período anterior. O aumento da produtividade continuou a reduzir os impactos da produção agropecuária na região da Floresta Amazônica. Entretanto, os preços no segundo regime da equação (22) não foram significativos.

Com relação a densidade do rebanho, assim como no período anterior, essa não demonstrou deter impacto sobre o desmatamento quando o limiar é descrito pela produtividade agrícola.

Com relação ao crédito, apenas dois parâmetros foram significativos em ambas as equações: A relação Crédito Agrícola/Área Municipal – Área de floresta no segundo regime da equação (22) e a densidade Crédito Pecuária/Rebanho no primeiro regime da equação (23).

Logo, mesmo com o diferencial entre os dois limiares das equações, essas apresentaram estruturas parecidas. O crédito, cujo impacto no período anterior fora positivo para os municípios menos produtivos, esteve associado a reduções na área desmatada. Esse aspecto ressalta a efetividade da política de conservação adotada a partir da resolução nº 3.545 de 29 de fevereiro de 2008 (CONSELHO MONETÁRIO NACIONAL, 2008).

#### 4.6 CLASSIFICAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DE ACORDO COM OS REGIMES

A Tabela 13 apresenta a classificação dos municípios de acordo com os regimes estabelecidos pelo PIB *per capita*.

**Tabela 13** – Municípios da Amazônia Legal Classificados em Regimes de acordo com a Variável de Limiar PIB *per capita*.

Modelo	Limiar	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
(22) Participação da Floresta no Município em 2004 maior do que 10 %	1	30	26	15	19	16	8	7	2	1
	2	344	348	359	68	69	56	50	42	38
	3	-	-	-	287	299	310	317	330	335
(22) Amazônia Legal	1	90	72	40	57	54	30	28	15	7
	2	670	688	720	167	157	148	133	113	103
	3	-	-	-	536	549	582	599	632	650
(23) Participação da Floresta no Município em 2004 maior do que 10 %	1	12	11	7	19	16	8	7	2	1
	2	362	363	367	68	69	56	50	42	38
	3	-	-	-	287	299	310	317	330	335
(23) Amazônia Legal	1	36	25	13	57	54	30	28	15	7
	2	724	735	747	167	157	148	133	113	103
	3	-	-	-	536	549	582	599	632	650

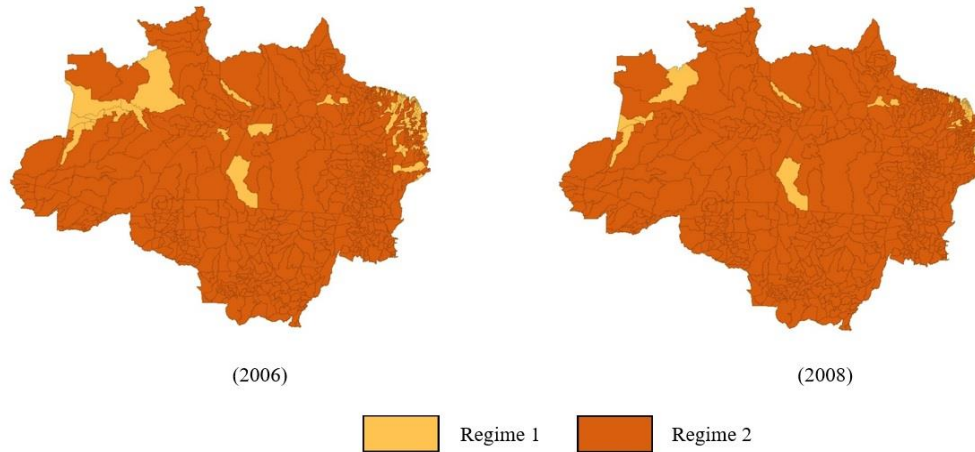
Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa

Por mais que os limiares entre 2006-2008 e 2009-2014 difiram, o número de municípios no primeiro regime decresceu ao longo do tempo, em ambas especificações. O regime intermediário, que surgira em 2009, também decrescera ao longo do tempo. Em 2014, apenas 1 município dentre os que detinham 10% da área municipal como floresta em 2004 estava no primeiro regime. Dentre todos os municípios da Amazônia Legal, apenas 7 encontrava-se no primeiro regime. Assim, uma vez que primeiro regime apresentara maiores impactos a floresta para variações nas culturas agropecuárias, a transição dos municípios para



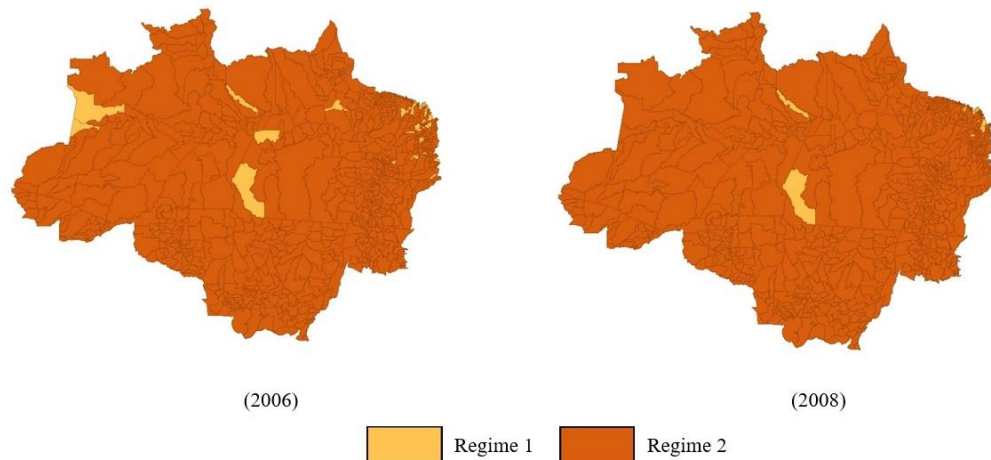
o terceiro regime corrobora com a hipótese do desenvolvimento como fonte de mitigação do impacto ao meio ambiente.

**Figura 14** – Classificação dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com os regimes da equação (22) e PIB *per capita* como Variável de Limiar em 2006 e 2008.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa

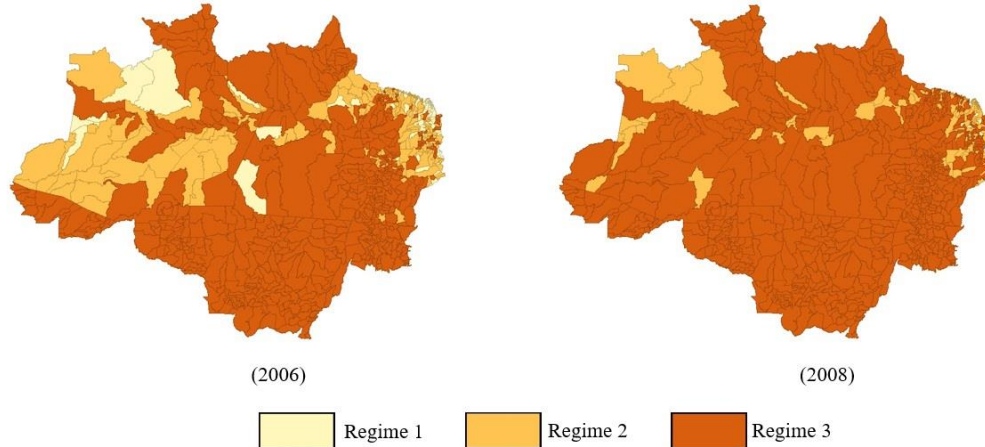
**Figura 15** - Classificação dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com os regimes da equação (23) e PIB *per capita* como Variável de Limiar em 2006 e 2008.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa

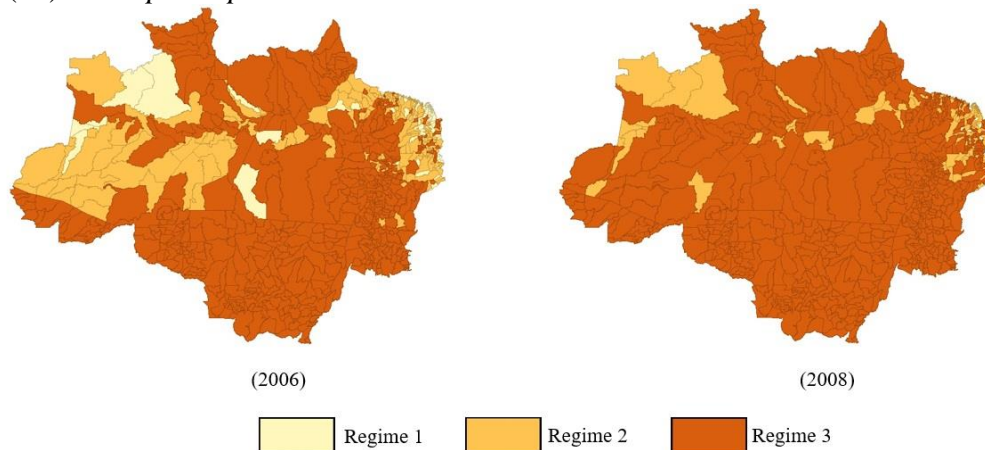
As Figuras 14 e 15 demonstra a classificação dos municípios de acordo com a distribuição espacial desses nas equações (22) e (23). No geral, os municípios do primeiro regime localizam-se no Maranhão e no Amazonas em ambas equações. A distribuição dos municípios apresenta poucas variações entre as equações, o que denota a robustez dos resultados. Ademais, destaca-se a transição dos municípios entre 2006 e 2008. Ao final do período, poucas regiões apresentaram municípios pertencentes ao primeiro regime.

**Figura 16** - Classificação dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com os regimes da equação (22) e PIB *per capita* como Variável de Limiar em 2009 e 2014.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa

**Figura 17** - Classificação dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com os regimes da equação (23) e PIB *per capita* como Variável de Limiar em 2009 e 2014.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa

As Figuras 16 e 17 contém a distribuição espacial dos municípios de acordo com o regime impostos pelo PIB *per capita*. Como os limiares das equações apresentaram valores semelhantes, a distribuição espacial expressa nas figuras apresenta o mesmo padrão. Assim, em 2009, os municípios dos primeiros regimes encontravam-se no Amazonas, norte do Pará e Maranhão. Em 2014, grande dos municípios desses Estados transacionaram para o regime 3. A distribuição espacial dos regimes ainda denota o padrão de municípios de regimes iniciais agruparem-se em *clusters*. Logo, a transição entre regimes ocorreu em conjunto para os municípios de determinadas regiões.

Em comparação ao mapa de correlação espacial da Figura 13, ressalta-se que os municípios pertencentes aos primeiros regimes encontram-se nos *clusters* de baixa correlação espacial. Logo, embora esses apresentem baixos valores de desmatamento, os incentivos a

desmatar que sofrem são superiores ao dos municípios mais ricos. Entretanto, a medida em que aumentam o seu nível de produção, os incentivos decaem. Nesse aspecto, destaca-se novamente a consonância entre o fenômeno observado e a CKA.

A Tabela 14 apresenta a classificação dos municípios de acordo com de limiar que denota a produtividade.

**Tabela 14 - Municípios da Amazônia Legal Classificados em Regimes de acordo com a Variável de Limiar Valor Bruto da Produção/Área Plantada de Culturas Temporárias e Permanentes.**

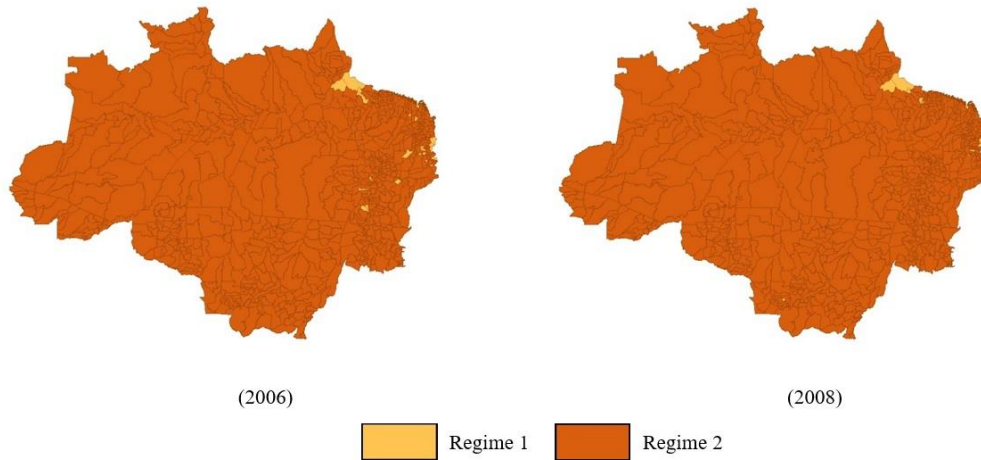
Modelo	Regime	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
(22) Participação da Floresta no Município em 2004 maior do que 10 %	1	5	6	0	369	365	365	363	350	345
	2	369	368	374	5	9	9	11	24	29
(22) Amazônia Legal	1	28	18	13	744	744	741	738	712	709
	2	732	742	747	16	16	19	22	48	51
(23) Participação da Floresta no Município em 2004 maior do que 10 %	1	5	6	0	49	45	34	32	23	31
	2	369	368	374	325	329	340	342	351	343
(23) Amazônia Legal	1	28	18	13	125	133	97	100	64	93
	2	732	742	747	635	627	663	660	696	667

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa

Entre 2006 e 2008 o limiar para as equações (22) e (23) fora substancialmente iguais. A mesma tendência de decréscimo de participação ocorrera com a produtividade agrícola. Assim, tanto o crescimento da produtividade agrícola, quanto o do PIB *per capita*, são fatores responsáveis pela transição dos municípios para regimes menos mitigadores de recursos naturais. Entre 2009 a 2014, a mesma tendência de decréscimo ocorrera nas equações (22) e (23), embora a equação (22) apresenta-se limiar mais elevado do que a (23). Logo, o aumento da produtividade agrícola propiciou o menor estímulo a degradação da Floresta Amazônia.

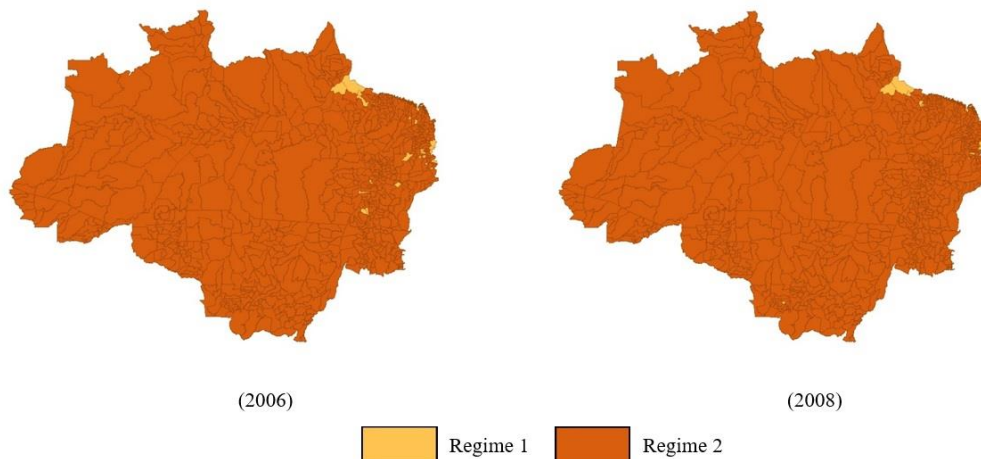
As Figuras 18 e 19 demonstram a disposição espacial dos municípios classificados em regimes de acordo com a produtividade em 2006 e 2008. Para ambas equações, (22) e (23), observa-se poucos municípios no primeiro regime. A maioria desses localiza-se no Maranhão e no Pará.

**Figura 18** - Classificação dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com os regimes da equação (22) e Valor Bruto da Produção/Área Plantada de Culturas Temporárias e Permanentes como Variável de Limiar em 2006 e 2008.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa

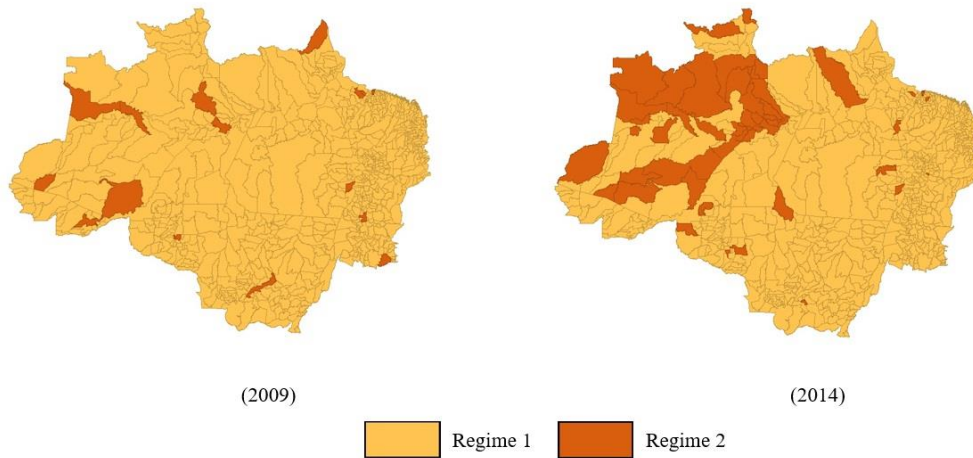
**Figura 19** - Classificação dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com os regimes da equação (23) e Valor Bruto da Produção/Área Plantada de Culturas Temporárias e Permanentes como Variável de Limiar em 2006 e 2008.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa

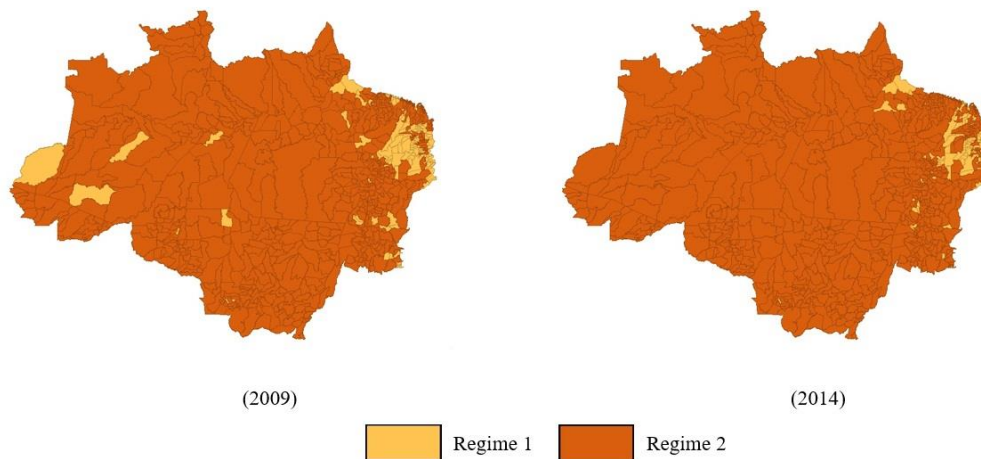
As Figuras 20 e 21 demonstram a disposição espacial dos municípios da Amazônia Legal classificados em regimes de acordo com a variável limiar de produtividade. Diferente do que ocorreria nos demais períodos e com o PIB *per capita*, a diferença entre limiares foi expressiva entre as equações (22) e (23). Em (22), grande parte dos municípios localiza-se no primeiro regime. De acordo com os parâmetros desse, o desmatamento é influenciado pelos preços das culturas bovina e da soja. Logo, os resultados corroboram com a estrutura de incentivos das demais equações estimadas. No caso dos municípios do segundo regime, apenas o crédito agrícola e a quantidade produzida de soja por km<sup>2</sup> de área plantada tiveram alguma influência sobre o desmatamento. Portanto, a elevação da produtividade agrícola induziu a redução do impacto das culturas locais sobre o desmatamento.

**Figura 20** - Classificação dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com os regimes da equação (22) e Valor Bruto da Produção/Área Plantada de Culturas Temporárias e Permanentes como Variável de Limiar em 2009 e 2014.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa

**Figura 21** - Classificação dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com os regimes da equação (23) e Valor Bruto da Produção/Área Plantada de Culturas Temporárias e Permanentes como Variável de Limiar em 2009 e 2014.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da pesquisa

Em relação a disposição espacial de acordo com o limiar da equação (23), observa-se resultados análogos as demais estimações. Grande parte dos municípios localizaram-se no segundo regime. Como o segundo regime é caracterizado por parâmetros favoráveis a conservação da floresta, destaca-se a elevação da produtividade como associada a mitigação do impacto das culturas locais sobre o desmatamento. Ademais, o crescimento da produtividade propiciou a transição entre regimes nas equações (22) e (23). Enquanto na equação (22) diversos municípios do Amazonas e Pará tornaram-se mais produtivos. Em (23), o aumento de produtividade agrícola no Maranhão culminou na transição de um regime contra o outro.

Portanto, assim como esperado, a elevação de produtividade e PIB *per capita* corroborou com a transição de municípios para regimes com menor impacto sobre a Floresta Amazônica. No resultado geral, grande parte dos municípios encontrava-se, em 2014, sobre os regimes com menos impactos a área de Floresta. Esses resultados ressaltam que a efetividade de suporte ao crescimento da produtividade, mesmo em períodos de mudanças institucionais. O impacto das medidas fora maior entre os municípios com maior produtividade, de modo que o crescimento dessa em regiões mais pobres propiciou a transição de diversos municípios para regimes menos mitigadores da floresta.

Cabe ressaltar que os resultados obtidos versam sobre um período de intensas mudanças na legislação ambiental. A manutenção desses depende da sensibilidade dos agentes a essas alterações, bem como a continuidade de alterações na legislação com o objetivo de conservar a Floresta Amazônica. Logo, tais resultados devem ser compreendidos como produto dessas alterações e restritos a curto prazo.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo procurou explicar o impacto da Renda e da Produtividade sobre a relação entre produção e desmatamento na Amazônia Legal, a nível municipal. Para tanto, utilizou-se de um modelo em dados em painel de efeitos fixos com variável limiar.

O período de análise abrangeu os anos de 2006 a 2014. Importantes alterações na legislação ambiental ocorreram no período. Dentre essas, cabe citar o PPCDAm de 2004 e o conjunto de políticas de 2008.

De forma geral, a análise da correlação espacial no período demonstrou a estrutura esperada. Os municípios pertencentes ao “Arco do Desmatamento” formaram um *cluster* de valores elevados do desmatamento, enquanto Amazonas, Maranhão e Tocantins apresentaram *clusters* de baixos valores.

A análise dos dados ainda demonstrou o descolamento entre as atividades produtivas e o desmatamento pós 2009. Enquanto a área desmatada na Amazônia Legal decresceu de 2005 a 2008 e se manteve estável de 2009 até 2014, os preços da soja e boi, rebanho, quantidade produzida de soja e crédito pecuário e agrícola elevaram-se. Esse comportamento ressalta a efetividade do conjunto de políticas adotadas em 2008.

Os resultados obtidos com a estimação foram compatíveis com o comportamento descrito pela Curva de Kuznets Ambiental. A partir de um determinado nível de Produto Interno Bruto *per capita*, os estímulos a degradação ambiental reduziram-se. Com isso, corrobora-se a hipótese de comportamento de “U” invertido para o desmatamento na Amazônia Legal. Resultados análogos foram obtidos para a produtividade agrícola. Logo, o aumento de produtividade induz a redução da conversão de áreas de floresta em áreas agricultáveis.

Ao classificar os municípios de acordo com o regime imposto pelo PIB *per capita* e produtividade, constatou-se que a grande maioria estava presente nos regimes com menores incentivos a desmatar. A comparação entre os anos revelou a transição dos municípios conforme as variáveis de limiar se alteraram. Assim, o crescimento de produção e produtividade associado a um ambiente de regras rígidas quanto ao uso dos recursos naturais demonstrou ser extremamente eficaz na redução da degradação ambiental.

Logo, embora os mecanismos comumente apontados como poupadores de recursos naturais aparentem funcionar para o caso da Amazônia Legal, seus efeitos são potencializados por regras ambientais rígidas. Nesse quesito, municípios como menor produção *per capita* e

produtividade necessitam de políticas específicas de combate ao desmatamento, uma vez que demonstraram ser mais suscetíveis a flutuações nos estímulos das culturas agrícolas.

Por fim, embora esse trabalho tenha permitido que as elasticidades variassem de acordo com variáveis exógenas ao modelo, os regimes estabelecidos apresentam parâmetros fixos. Assim, recomenda-se que se trate o problema a partir de metodologia que permita que os parâmetros variem ao longo do regime. Ademais, recomenda-se também a estimação do PTR com a matriz de pesos espaciais, a fim de se captar a influência dos vizinhos no processo.



## REFERÊNCIAS

- ALVES, C. G. **Políticas Públicas Setoriais, Nível de Atividade Econômica e Fatores de Rentabilidade da Atividade Agropecuária: Vetores de Pressão sobre os Recursos Florestais na Amazônia Brasileira.** 2016. 237 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília. 2016.
- ANDERSEN, L.E.; GRANDER, C.W.; REIS, E.J.; WEINHOLD, D.; WUNDER, S. **The dynamics of deforestation and economic growth in the Brazilian Amazon.** Cambridge University Press, New York, 2002, 259p.
- ARELLANO, M.; BOND, S. Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations. **The Review of Economic Studies**, Stockholm, Sweden, v. 58, n. 2, p. 277-297, 1991.
- ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C. C.; ROCHA, R.; ROCHA, R. **Does Credit Affect Deforestation? Evidence from a Rural Credit Policy in the Brazilian Amazon.** Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2013. 48 p. (Working Paper).
- ASSUNÇÃO, J.; ROCHA, R.; GANDOUR, C. C. **Deforestation Slowdown in the Legal Amazon: Prices or Policies?** Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2012. 37 p. (Working Paper).
- BARRETO, P.; SILVA, D. Will cattle ranching continue to drive deforestation in the Brazilian Amazon? In: ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES MANAGEMENT IN DEVELOPING AND TRANSITION ECONOMIES, 2010, Clermont Ferrand, France. **Anais...**
- BOUCHARDET, D. A.; PORSSE, A. A.; TIMOFEICZYK JÚNIOR, R. Evidências sobre o Impacto do Fundo Amazônia no Desmatamento da Amazônia Legal Brasileira. In: XXXIV ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 44, 2016, Foz do Iguaçu. **Anais...**
- BRANDÃO, A. S. P.; REZENDE, G. C.; MARQUES, R. W. C. **Agricultural growth in the period 1999-2004, outburst in soybeans area and environmental impacts in Brazil.** Rio de Janeiro: Ipea, 2005. 35p. (Texto para Discussão, 1062).
- BRASIL, Decreto n. 23.793, de 23 de Janeiro de 1934. **Approva o código florestal que com este baixa**, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1934.

\_\_\_\_\_. Decreto n. 6.321, de 21 de dezembro de 2007. **Dispõe sobre ações relativas à prevenção, monitoramento e controle de desmatamento no Bioma Amazônia, bem como altere e acresce dispositivos ao Decreto n° 3.179, de 21 de setembro de 1999, que dispõe sobre a especificação das sanções aplicáveis as condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências**, Brasília, Distrito Federal, 2007.

\_\_\_\_\_. Lei n. 11.132, de 4 de julho de 2005. **Acrescenta artigo à Lei n° 9.985 de 18 de julho de 2000, que regulamenta o art. 225 § 1º, inciso I, II, III e IV da Constituição Federal e institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza**, Brasília, Distrito Federal, 2005.

\_\_\_\_\_. Lei n. 4.771, de 15 de setembro de 1965. **Institui o novo Código Florestal**, Brasília, Distrito Federal, 1965.

\_\_\_\_\_. Lei n. 6938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**, Brasília, Distrito Federal, 1981.

\_\_\_\_\_. Decreto n. 6.527, de 1 de agosto de 2008. **Dispõe sobre o estabelecimento do Fundo Amazônia pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social – BNDES**, Brasília, Distrito Federal, 2008.

\_\_\_\_\_. Lei n. 1.806, de 6 de janeiro de 1953. **Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia, cria a superintendência da sua execução e dá outras providências**, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Jan. 1953.

CARVALHO, S. S. **A Relação entre Crescimento e o Meio Ambiente: Uma Reavaliação da Curva de Kuznets Ambiental**. Brasília: Ipea, 2013. 70 p. (Texto para Discussão, 1902).

CISNEROS, E.; HARGRAVE, J.; KIS-KATOS, K. Unintended consequences of anti-corruption strategies: Public fiscal audits and deforestation in the Brazilian Amazon. In: XV BIOECON CONFERENCE, 15, 2013, Cambridge. **Anais...**

COELHO, M. R.; SANTOS, H. G.; SILVA, E. F.; AGILIO, M. L. D. O Recurso Natural Solo, In: MANZATTO, C. V.; FREITAS, E.; PERES, J. R. R. (Org.) **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 1-11.

COLUSSO, M. V. S.; PARRÉ, J. L.; ALMEIDA, E. Degradação Ambiental e Crescimento Econômico: A Curva de Kuznets Ambiental para o Cerrado. In: XL ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 40, 2012, Porto de Galinhas. **Anais...**

CONSELHO MONETÁRIO NACIONAL. Resolução n. 3545, de 29 de fevereiro de 2008. **Altera o MCR-21 para estabelecer exigência de documentação comprobatória de regularidade e outras condicionantes, para fins de financiamento agropecuário no Bioma Amazônia**, Brasília, Distrito Federal, 2008.

CORREA, V. H. C. **O Desenvolvimento e a Expansão da Produção Agropecuária no Centro-Oeste**. 2013. 255 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico) – Instituto de Economia da Unicamp, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2013.

DINIZ, M. B.; TROMPIERI NETO, N.; OLIVEIRA JUNIOR, J. N.; DINIZ, M. J. T. Causas do desmatamento da Amazônia: uma aplicação do teste de causalidade de Granger acerca das principais fontes de desmatamento nos municípios da Amazônia Legal brasileira. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 19, n. 1, p. 121-151, Jan./Abr. 2009.

FASIABEN, M. C. R.; ANDRADE, D. C.; REYDON, B. P.; GARCIA, J. R.; ROMEIRO, A. R. Estimativas de Aporte de Recursos para um Sistema de Pagamento por Serviços Ambientais na Floresta Amazônica Brasileira. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 12, n. 2, p. 223-239, Jul./Dez. 2009.

FAZZARI, S. M.; GLENN HUBBARD, R.; PETERSEN, B. C. Financing constraints and corporate investment. **Brookings Papers on Economic Activity**. p. 141-195, 1988.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia brasileira: história, índices e consequências. **Megadiversidade**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 114-123, Jul. 2005.

\_\_\_\_\_. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 36, n. 3, p. 395-400, 2006.

\_\_\_\_\_. Uso da Terra na Amazônia e as Mudanças Climáticas Globais. **Sociedade Brasileira de Ecologia**, São Paulo, v. 11, n.1, p. 83-100. Fev. 2007.

FERREIRA, L. G.; FERREIRA, M. E.; ROCHA, G. F.; MARLON, N.; FERREIRA, N. C. Dinâmica Agrícola e Desmatamentos em Áreas de Cerrado: Uma análise a partir de dados censitários e imagens de resolução moderada. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, v. 61, n. 2, p. 117-127. Mai./Ago. 2009. (ISSN 0560-4612).

FERREIRA, M. D. P.; COELHO, A. B. Desmatamento Recente nos Estados da Amazônia Legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas governamentais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 53, n. 1, p. 093-108, Jan./Mar. 2015.

FONSECA, L. N.; RIBEIRO, E. P. Preservação Ambiental e Crescimento Econômico no Brasil. In: XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 32, 2004, João Pessoa. **Anais...**

GAZONI, J. L. **A contribuição relativa das forças primárias do desmatamento na Amazônia**. 2011. 228p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília. 2011.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. **What drives tropical deforestation?** A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation on subnational case study evidence. 1 ed. Louvain-la-Neuve, Belgium: LUCC International Project Office, 2001. 116 p.

GIBBS, H. K.; MUNGER, J.; ROE, J. L.; BARRETO, P.; PEREIRA, R.; CHRISTIE, M.; AMARAL, T.; WALKER, N. Fazendeiros e Frigoríficos responderam aos Acordos de Desmatamento Zero na Amazônia Brasileira? **Conservation Letters**. Medford, v. 8, n. 1, p. 32-42, Jan./Fev. 2015.

GROSSMAN, G. B.; KRUEGER, A. B. **Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement**. Washington: NBER, 1991. 39 p. (Working Paper, n. 3914).

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. New York: The McGraw-Hill, 2012. 924 p.

HANSEN, B. E. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing and inference. **Journal of Econometrics**, v. 93, n. 1, p. 345-368, Abr. 1999.

HARGRAVE, J.; KIS-KATOS, K. **Economic Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon: A Panel Data Analysis for the 2000s**. Freiburg: University of Freiburg, 2011. 30 p. (Discussion Paper Series, 17).

HOMMA A. K. O. Amazônia: os avanços e os desafios da pesquisa agrícola. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 18, n. 36, p. 33-54, Jan./Jun. 2013.

\_\_\_\_\_. **História da Agricultura na Amazônia: Da era pré-colombiana ao terceiro milênio**. 1 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 274 p.

IPEA; CEPAL; GIZ. **Avaliação do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento da Amazônia Legal**. Brasil: Ipea, 2012. 97p. (Technical report.)

KREPS, D. M. **A Course in Microeconomic Theory**. Princeton: Princeton University Press, 1990. 839 p.

MARGULIS, S. **Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira**. 1 ed. Brasília: Banco Mundial, 2003. 75 p.

MAS-COLELL, A.; WHINTON, M. D.; GREEN, J. R. **Microeconomic Theory**. New York: Oxford University Press, 1995. 981 p.

MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J.; BEHRENS III, W. W. **The Limits to Growth**. 1 ed. New York: Universe Books, 1972. 205 p.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. **Estimativas Anuais de Emissões de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. Brasília: MMA/SBF, 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Florestas do Brasil em resumo**. Dados de 2005 – 2009. Brasília: MMA/SBF, 2009.

MIRAGAYA, J. F. G. **Transformação no Arco do Desmatamento: A expansão da pecuária bovina na Amazônia, pressões sobre o meio ambiente e o papel das políticas públicas na contenção do desmatamento (1990/2010)**. 2013. 252 p. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília. 2013.

MOLION, L. C. B. Aquecimento Global: Uma Visão Crítica. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 7-28, Ago. 2008.

NICHOLSON, W.; SNYDER, C.; LUKE, P.; WOOD, M. **Intermediate Microeconomics**. Andover: Cengage Learning EMEA, 2009. 649 p.

OLIVEIRA, R. C.; ALMEIDA, E.; FREGUGLIA, R. S.; BARRETO, R. C. Desmatamento e Crescimento Econômico no Brasil: uma análise da Curva de Kuznets Ambiental para a Amazônia Legal. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 49, n. 3, p. 709-740, Jul./Set. 2011.

PERES, R. P.; UHR, J. G. Z.; UHR, D. A. P. Infrações contra a Flora e Multas Aplicadas: Análise Espacial para o Brasil. **Revista Iberoamericana de Economia Ecológica**, v. 26, n. 1, p. 89-107, Out./Dez. 2016.

PRATES, R. L.; BACHA, C. J. C. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 20, n. 3 (43), p. 601-636, Dez. 2011.

RIVEIRO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, S. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 19, n. 1, p. 41-66, Jan./Abr. 2009.

ROBALINO, J. A.; PFAFF, A. Contagious development: Neighbor interactions in deforestation. **Journal of Development Economics**, v. 97, n. 2, p. 427–436, 2012

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 207p.

SANTOS, D. B.; SILVA, D. C. C.; RODRIGUES, M. Instituições e *enforcement* na redução do desmatamento da Amazônia. **Teoria e Evidência Econômica**, Passo Fundo, v. 22, n. 47, p. 312-330, Jul./Dez. 2016

SERRA, M. A.; MORAES, R. **Padrão de Consumo, Distribuição de Renda e o Meio Ambiente no Brasil**. Rio de Janeiro: Ipea, 2002. 51 p. (Texto para Discussão, 858).

SILVA, E. B.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; ANJOS, A. F.; MIZIARA, F. Análise da distribuição espaço-temporal das pastagens cultivadas no bioma Cerrado entre 1970 e 2006. **Revista IDEAS**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 174-209, Jan./Jun. 2013.

SILVA, J. H. G. Economic Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon: An Empirical Analysis of the 2000s. In: XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA, 37, 2009, Foz do Iguaçu. **Anais...**

TERSITSCH, M. E. C. **The Impact of Public Policies on Deforestation in the Brazilian Amazon**. 2017. 196 p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universität Bonn, Bonn, Alemanha. 2017.

VALENTE, L. C. M. **Mudanças nos usos da terra no Brasil entre 1995 e 2006**. 2012. 179 p. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba. 2012.

VALENTIM, J. F.; ANDRADE, C. M. S. Tendências e Perspectivas da Pecuária Bovina na Amazônia Brasileira. **Amazônia Ciência & Desenvolvimento**, Belém, v. 4, n. 8, p. 9-32, Jan./Jun. 2009.

VIEIRA, R. S. **Crescimento Econômico no Estado de São Paulo**: uma análise espacial. São Paulo: Editora UNESP, 2009. 103 p.

WALKER, R.; DEFRIES, R.; VERA-DIAZ, M.C.; SHIMABUKURO, Y.; VENTURIERI, A. The Expansion of Intensive Agriculture and Ranching in Brazilian Amazonia. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; DIAS, P.S. (editores) **Amazonia and Global Change**. Washington: American Geophysical Union, 2009, p. 61-82.

WANG, Q. Fixed-effect panel threshold model using Stata. **The Stata Journal**, v. 25, n. 1, p. 121-134, 2015.