

Uso da terra e desmatamento na Amazônia Legal: uma análise por meio de dados em painel

Land use and deforestation in the Legal Amazon: a panel regression analysis

Uso de la tierra y deforestación en la Amazonía Legal: un análisis de regresión en panel

DOI: 10.55905/ijsmvtv10n3-047

Originals received: 05/03/2024

Acceptance for publication: 05/31/2024

Fábio Souza Aranha

Mestre em Economia Aplicada

Instituição: Universidade de São Paulo

Endereço: Avenida Pádua Dias, 235, Agronomia, Piracicaba – SP, CEP: 3418-900

E-mail: fabio.aranhha@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1517-6813>

Cassiano Bragagnolo

Doutor em Economia Aplicada

Instituição: Universidade Federal de São Carlos

Endereço: Rodovia João Leme dos Santos, Km 110, Sorocaba – SP, CEP: 18052-780

E-mail: cassiano@ufscar.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9177-3791>

RESUMO

Compreender o papel e a magnitude das atividades econômicas sobre a preservação da Amazônia é fundamental para a concepção de políticas públicas de preservação. Assim, esse artigo investiga como alguns condicionantes do desmatamento se alteram à medida que a produtividade agrícola e o PIB se elevam. O período de análise abrange os anos de 2006 a 2014. Para tanto, modelos em dados em painel com efeito de variável de limiar foram empregados para atingir os objetivos. Os resultados obtidos com a estimação foram compatíveis com o comportamento descrito pela Curva de Kuznets Ambiental em formato de “U” invertido, uma vez que a partir de um determinado nível de PIB *per capita*, a degradação ambiental reduziu-se.

Palavras-chave: desmatamento, floresta amazônica, produtividade agrícola, políticas de conservação.

ABSTRACT

Understanding the role of the economic activities of the preservation on the Brazilian part of Amazon rainforest is necessary for the formulation of environmental policies. Thus, this article investigates the response of deforestation due to changes in agricultural

productivity and GDP. The period of analysis covers the years 2006 to 2014. Panel data models with a threshold variable effect are used to achieve the objectives. The main results are compatible with the Environmental Kuznets inverted-U shaped Curve, since from a determined level of GDP *per capita*, the environmental degradation reduced.

Keywords: deforestation, amazon rainforest, agricultural productivity, conservational policies.

RESUMEN

Comprender el papel y la magnitud de las actividades económicas en la preservación de la Amazonía es fundamental para la concepción de políticas públicas de conservación. Por lo tanto, este artículo investiga cómo algunos condicionantes de la deforestación cambian a medida que aumenta la productividad agrícola y el PIB. El período de análisis abarca los años de 2006 a 2014. Para ello, se emplearon modelos de datos en panel con efecto de variable umbral para alcanzar los objetivos. Los resultados obtenidos con la estimación fueron compatibles con el comportamiento descrito por la Curva de Kuznets Ambiental en forma de "U" invertida, ya que a partir de un cierto nivel de PIB per cápita, la degradación ambiental disminuyó.

Palabras clave: deforestación, selva amazónica, productividad agrícola, políticas de conservación.

1 INTRODUÇÃO

A Floresta Amazônica corresponde a 40% do território de florestas úmidas remanescentes no planeta (Andersen *et al.*, 2002), caracterizando-se como a última floresta de dimensões continentais do planeta (Ross, 2006). Sua vasta área abrange nove países, embora grande parte esteja localizada no Brasil.

Ao longo do tempo, seu desenvolvimento foi condicionado por diferentes forças de mercado e motivações por parte do Estado brasileiro. Prates e Bacha (2011) destacam que o começo do desenvolvimento na região Amazônica se deu via extração da borracha, que ocorreu no final do século XIX e início do século XX. 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 a produção para a subsistência destes centros, culminou no desmatamento de algumas áreas.

Com o advento do governo militar, a lógica do desenvolvimento na Amazônia se alterou. Assim, no período pós 1964, firmou-se o compromisso de integração da floresta

com o restante do Brasil. Walker *et al.* (2013) definem que essa iniciativa, que ficou conhecida como “Operação Amazônia”, constituía-se em investimentos de infraestrutura, acomodados em interesses geopolíticos e econômicos. Segundo (HOMMA, 2003), os incentivos fiscais concedidos à pecuária, mesmo tendo sido introduzidos na região no final da década de 50, foram o primeiro grande estímulo à produção em larga escala desta atividade na Amazônia.

No período posterior a 1986, o desenvolvimento da Amazônia passou a ser definido por estímulos de mercado. Embora o estado controlasse o território, foram os madeireiros, pecuaristas e agricultores (guiados principalmente pelo cultivo da soja) que determinaram os rumos da região (Prates; Bacha, 2011). Diniz *et al.* (2009) pontuam que com o final dos incentivos providos pelo governo federal, a manutenção da lucratividade da agropecuária passou a se dar, principalmente, devido às condições ecológicas favoráveis, às pastagens e à disponibilidade de terra barata, associada ao caráter extensivo da atividade e seu baixo custo ao produtor.

Ao longo da década de 2000, diversas mudanças impactaram o desmatamento. Após dois anos seguidos de aceleração nas taxas de desmatamento, criou-se, em 2003, o Plano Amazônia Sustentável (PAS). O PAS era composto por um conjunto de políticas específicas que abrangiam desde a repressão do desmatamento até o fomento a atividades produtivas consideradas sustentáveis (Miragaya, 2013). Dentro do âmbito do PAS, o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) foi um dos principais instrumentos na redução do desmatamento na década de 2000 (Assunção; Rocha; Gandour, 2012; Barreto; Silva, 2010; Miragaya, 2013). De acordo com o relatório confeccionado pelo 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), dentro dos objetivos do programa, as práticas de monitoramento e criação de Unidades de Conservação foram as que obtiveram maior sucesso (IPEA, 2012).

De acordo com Barreto e Silva (2010), em dezembro de 2007, os dados do Sistema de Detecção de Desmatamentos em Tempo Real (DETER) mostraram que o desmatamento em novembro de 2007 dobrou em relação ao mesmo período do ano anterior. Em resposta a esse comportamento, alteraram-se as diretrizes da política de

contenção do desmatamento em prol de punições mais rígidas aos infratores (Barreto; Silva, 2010). Desta forma, o Decreto n. 6.321, de 21 de setembro de 2007 (Brasil, 2007) estabeleceu bases legais para atuação mais rígida em municípios com altas taxas de desmatamento. Em janeiro de 2008, o Ministério do Meio Ambiente criou o que convencionou-se chamar de “lista negra do desmatamento”, composta pelos municípios na qual o desmatamento havia chegado a níveis críticos¹ (Assunção; Rocha; Gandour, 2012). As operações nesses locais começaram em março de 2008, resultando em confisco de equipamentos, aplicação de multas e embargo de áreas desmatadas. Além disso, os compradores dos produtos provenientes de áreas embargadas tornaram-se sujeitos a medidas legais (Barreto; Silva, 2010).

As medidas estabelecidas ainda dificultavam o financiamento de atividades em áreas desmatadas. A Resolução n. 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 (CMN, 2008), publicada pelo Conselho Monetário Nacional, impunha restrições à concessão de crédito agrícola. O principal objetivo era o de restringir o acesso de infratores ambientais ao crédito rural.

Além das medidas provenientes do governo, campanhas promovidas por Organizações Não Governamentais (ONGs) também afetaram o desmatamento. Concomitante às mudanças institucionais de 2008, 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 ser provenientes de fazendas sem áreas desmatadas ilegalmente. Em outubro de 2008, os quatro maiores frigoríficos da região aderiram aos TAC's (Gibbs *et al.*, 2015). A adesão ao acordo resultou na suspensão da compra de carne proveniente de 221 propriedades que não seguiam as regras impostas pelo acordo pactuado (Barreto; Silva, 2010).

Estas medidas tiveram impactos positivos no período de 2004 a 2008 sobre a redução do desmatamento argumenta-se que os anos de 2004 e 2008 foram pontos de inflexão na trajetória do desmatamento devido às mudanças ocorridas (Assunção; Rocha; Gandour, 2012; Assunção *et al.*, 2016; Barreto; Silva, 2010; Bouchardet; Porsse;

¹ A “lista negra do desmatamento” elenca os municípios que apresentam as maiores taxas de desmatamento na Amazônia Legal e que passaram a ser foco prioritário para as políticas de conservação.

Timofeiczky-Júnior, 2016; Ferreira; Coelho, 2015; Gibbs *et al.*, 2015; Miragaya, 2013). Os impactos positivos gerados por estas mudanças de trajetória teriam poupado 62.038 km² de floresta entre 2005 e 2009. Assunção *et al.* (2016) apontam para o papel da Resolução nº 3.545, de 29 de fevereiro de 2008 na redução do desmatamento (CMN, 2008). Segundo os autores, a redução do crédito teve um papel crucial na queda do desmatamento, sendo que entre 2009 e 2011, 2.783 km² de área da Floresta Amazônica não teriam sido desmatados devido à restrição de crédito.

Mesmo com o sucesso da política ambiental na Amazônia, a substituição de áreas de floresta por áreas de produção agropecuária ainda representa o principal risco de desflorestamento. Diversos autores investigaram a relação entre o desmatamento e variáveis socioeconômicas por meio de modelos de dados em painel (Assunção; Rocha; Gandour, 2012; Assunção *et al.*, 2016; Bouchardet; Porsse; Timofeiczky-Júnior, 2016; Cisneros; Hargrave; Kis-Katos, 2013; Diniz *et al.*, 2009; Ferreira; Coelho, 2015; Hargrave; Kis-Katos, 2013; Oliveira *et al.*, 2011; Rivero *et al.*, 2009; Tersitsch, 2017). No contexto geral, o preço da soja (Assunção; Rocha; Gandour, 2012; Bouchardet; Porsse; Timofeiczky-Júnior, 2016; Ferreira; Coelho, 2015; Hargrave; Kis-Katos, 2013), o preço do boi gordo (Assunção; Rocha; Gandour, 2012; Bouchardet; Porsse; Timofeiczky-Júnior, 2016; Ferreira; Coelho, 2015), o tamanho do rebanho (Diniz *et al.*, 2009; Oliveira *et al.*, 2011; Rivero *et al.*, 2009), as plantações temporárias e permanentes (Diniz *et al.*, 2009), o crédito agrícola (Assunção *et al.*, 2016; Diniz *et al.*, 2009; Ferreira; Coelho, 2015; Hargrave; Kis-Katos, 2013; Oliveira *et al.*, 2011), a população (Diniz *et al.*, 2009; Ferreira; Coelho, 2015) e o produto *per capita* (Diniz *et al.*, 2009; Ferreira; Coelho, 2015; Oliveira *et al.*, 2011) foram importantes fatores para explicar o comportamento do desmatamento na região. Os impactos da atuação governamental também foram investigados na literatura, avaliando-se as aplicações de multas (Hargrave; Kis-Katos, 2013) e as auditorias (Cisneros; Hargrave; Kis-Katos, 2013; Tersitsch, 2017).

Do ponto de vista empírico, a relação entre degradação ambiental e o desenvolvimento econômico é comumente descrita por meio da Curva de Kuznets Ambiental (CKA), que tem sido estudada por diversos autores (Grossman; Krueger, 1994). De acordo com a CKA, em economias pouco desenvolvidas, o crescimento da renda *per capita* estaria relacionado a taxas crescentes de degradação do meio ambiente.

Entretanto, a partir do ponto em que a economia atinge determinado nível de renda, há um ponto de inflexão, de modo que o crescimento do PIB *per capita* ocorre junto a uma redução na degradação ambiental. Assim, a relação entre estas variáveis seria descrita por meio de uma curva com formato de “U” invertido. Aponta-se na literatura, ainda, para a possibilidade de existência de um novo ponto de inflexão, de modo que a relação descrita teria formato de “N”. Logo, o segundo ponto de inflexão induziria a volta de taxas crescentes de degradação ambiental a partir de um determinado nível de renda *per capita*. Dentre as razões descritas para a existência do ponto de inflexão, destaca-se o comportamento da sociedade quanto as suas decisões de consumo e preferências por bens ambientais, bem como o progresso técnico e especialização produtiva das regiões de acordo com suas vantagens comparativas (Seroa da Motta, 2002).

Quanto à relação entre desmatamento e PIB *per capita* na Amazônia Legal, (Ferreira; Coelho, 2015) apontam para um comportamento similar ao descrito pela CKA. O trabalho dos autores pauta-se na hipótese de que o efeito das culturas produtivas na Amazônia sobre o desmatamento difere conforme o estágio de desenvolvimento das regiões. Na literatura sobre CKA para desmatamento da Amazônia Legal existem tanto indícios de curvas em formato de “U” invertido quanto de curvas em formato de “N”. (Santos *et al.*, 2008) avaliaram a CKA para a Amazônia legal por meio de modelos econométricos com dados em painel e encontraram evidências de um formato quadrático em “U”. (Oliveira *et al.*, 2011), por sua vez, avaliaram a relação entre crescimento da renda e desmatamento sob a hipótese da Curva de Kuznets Ambiental para os municípios da Amazônia Legal, no período de 2001 a 2006, por meio de um modelo de dados em painel com dependência espacial. Os resultados obtidos por (Oliveira *et al.*, 2011) apontaram que o formato da curva diferente dos autores citados anteriormente, descrevendo a relação entre desmatamento e crescimento como tendo a forma de um “N” invertido e não o formato de “U” invertido ou de “N”.

O objetivo principal deste estudo é compreender os fatores que impactam o uso da terra, e consequentemente o desmatamento, na Floresta Amazônica. Para tanto, pretende-se investigar o comportamento do desmatamento à nível municipal, considerando-se o efeito de algumas variáveis econômicas sobre ele. As equações foram estimadas por meio de um modelo de dados em painel com efeito de variável de limiar,

conhecido como *Panel Threshold Regression* (PTR) proposto por (Hansen, 1999). A amostra compreende os municípios pertencentes a Amazônia Legal, no período de 2006 a 2014. Como variáveis independentes, utilizaram-se o preço da soja, o preço do boi gordo, o crédito pecuário e agrícola, a quantidade produzida de soja e o tamanho do rebanho bovino. Todas as variáveis foram escolhidas com base na literatura prévia sobre o assunto.

O presente trabalho está organizado em quatro seções, além desta breve introdução. A segunda seção apresenta a metodologia, bem como a estratégia de estimação e as fontes de dados. A terceira seção apresenta os resultados e a discussão. Por fim, a quarta seção apresenta as considerações finais do estudo.

2 METODOLOGIA

2.1 MODELO DE DADOS EM PAINEL COM EFEITO DE VARIÁVEL DE LIMIAR

O PTR, inicialmente proposto por Hansen (1999), tem como base uma estimação com efeitos fixos e requer dados balanceados². A expressão (1) apresenta 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 para a observação i no tempo t ; q_{it} refere-se a variável de limiar para a observação i no tempo t ; x_{it} refere-se a um vetor de variáveis independentes para a observação i no tempo t ; μ_i refere-se aos efeitos fixos para a observação i no tempo t ; $I(\cdot)$ refere-se a função de indicação; γ refere-se ao limiar entre os regimes; ε_{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

² Dados balanceados ocorrem quando o número de observações de cada tratamento ou grupo em cada linha da subamostra são os mesmos.

variável de limiar é maior que o limite γ , os respectivos parâmetros para aquele grupo de observações são dados pelo vetor β'_2 . Caso $q_{it} \leq \gamma$, os parâmetros β'_1 conferem os efeitos marginais das variáveis independentes para esse grupo de observações. Assim, existem $n+1$ regimes para n limiares.

Outra forma de se representar a expressão (1) é por meio da expressão (2).

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

em que:

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

Uma vez que o modelo em questão é não-linear, a remoção das médias individuais ocorre via subtração da expressão (2) menos a expressão (3), que resulta na expressão (4).

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

em que:

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

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

em que:

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

A expressão (4) pode ser reescrita conforme a expressão (5).

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

na qual:

$$Y^{*'} = [[y_{12}^* \dots y_{1T}^*] \dots [y_{i2}^* \dots y_{iT}^*]], \quad X^*(\gamma)' = [[x_{12}^*(\gamma) \dots x_{1T}^*(\gamma)] \dots [x_{i2}^*(\gamma) \dots x_{iT}^*(\gamma)]] \quad \text{e} \quad e^{*'} = [[\varepsilon_{12}^* \dots \varepsilon_{iT}^*] \dots [\varepsilon_{i2}^* \dots \varepsilon_{iT}^*]].$$

Para determinados valores da variável de limiar, os parâmetros podem ser estimados via Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), de acordo com a expressão (6).

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

Hansen (1999) e outros autores recomendam a estimação dos limiares via MQO de acordo com a expressão (7).

$$\hat{\gamma} = \underset{\gamma}{argmin} S_1(\gamma) \quad (7)$$

em que:

$S_1(\gamma)$ denota o Somatório dos Quadrados dos Resíduos da expressão (5).

Hansen (1999) descreve que, no processo de minimização da expressão (7), não é desejável que os regimes apresentem poucas observações. Nesse caso, pode-se restringir uma porcentagem mínima de observações por regime. Ademais, o processo descrito pela expressão (7) envolve a busca pelo valor do limiar associado à 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 os quantis da amostra.

2.2 TESTE DE LINEARIDADE

O Teste de Hansen (1999) para linearidade tem a finalidade de indicar o número de quebras estruturais na regressão de acordo com a variável exógena. Inicialmente testa-se a hipótese de que não existe 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 ocorrerá via modelo de dados em painel com efeitos fixos. A estatística do teste é descrita pela expressão (8).

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

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.

2.3 ESTRATÉGIA DE ESTIMAÇÃO

A partir das relações teóricas descritas anteriormente, propõe-se que a mudança no uso do fator terra na região Amazônica seja explicada pela conversão de áreas de floresta para outras atividades. Assim, o desmatamento pode ser denotado como uma função indireta dos incentivos à produção. As principais atividades produtivas da região são a produção de soja e a criação de bovinos. Assim, adotaram-se os preços da soja e do boi gordo, o tamanho do rebanho, a quantidade produzida de soja e o montante de crédito agrícola e pecuário como variáveis independentes na função, que determinam o nível de desmatamento.

Tendo em vista a relação definida pela CKA, espera-se que os parâmetros descritos na função de desmatamento alterem-se de acordo com o nível de PIB *per capita*. O crescimento da produtividade ainda é visto como fonte de mudança nos impactos da produção sobre o meio ambiente. Assim, também se espera que a alteração dos níveis de

produtividade influencie os parâmetros das expressões.

Para estimar o modelo proposto, serão utilizadas as expressões (9) e (10).

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

$$\ln(Desmat)_{it} = \mu_i + \alpha' z_{it} + \beta'_1 x_{1it} I(q_{it} \leq \gamma_1) + \beta'_2 x_{1it} I(\gamma_1 < q_{it} \leq \gamma_2) + \dots + \beta'_{n+1} x_{1it} I(\gamma_n < q_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

na qual:

$\ln(Desmat)_{it}$ refere-se a participação do desmatamento na área total do município i no tempo t ; μ_i refere-se aos efeitos fixos do modelo; α refere-se aos parâmetros do regimes independentes; z_{it} refere-se ao vetor de variáveis cujos impactos não dependem da variável de limiar (que são a participação da área de floresta na área total do município e a quantidade de soja produzida, medida em sacas de 60/kg); β_n refere-se ao vetor de parâmetros do regime n ; x_{1it} refere-se ao vetor das variáveis que são o preço da saca de soja de 60 quilogramas, o preço do boi gordo por cada 15 quilogramas, volume de crédito pecuário dividido pela área de floresta do município, volume de crédito agrícola dividido pela área de floresta do município em logaritmos neperianos; x_{2it} refere-se ao vetor das variáveis: preço da saca de soja de 60 quilogramas, preço do boi gordo por cada 15 quilogramas, volume de crédito pecuário dividido pelo rebanho, volume de crédito agrícola dividido pela área plantada nas culturas temporárias e permanentes em logaritmos neperianos; q_{it} refere-se a variável de limiar (PIB *per capita* ou Valor Bruto da Produção (VBP) dividido pela área plantada nas culturas temporárias e permanentes); γ_n refere-se ao n -ésimo limiar.

Assim como em Hargrave e Kis-Katos (2013), excluíram-se os municípios sem uma determinada participação mínima de floresta sobre a área do município. A exclusão destas localidades é justificada pela ausência de áreas disponíveis para se desmatar e devido à dinâmica entre produção e desmatamento, uma vez que essa depende do estoque disponível de floresta a ser convertido em áreas agricultáveis Hargrave e Kis-Katos (2013). 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 tinham informações sobre o tamanho do rebanho bovino e da produção de soja, assim

como os que não tinham informações sobre o volume de crédito concedido. Por fim, como a função proposta foi 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. Desta forma, as expressões (9) e (10) foram estimadas a partir de 309 municípios pertencentes à região da Amazônia Legal no período de 2006 a 2014.

Uma vez que o desmatamento é um fenômeno correlacionado espacialmente, optou-se por resíduos robustos e com *clusters* para a distância do município i até o porto de Santos. 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 utilizar a distância ao Porto de Santos, dada a importância histórica desse no escoamento da produção nacional (Kussano; Batalha, 2012).

A diferença entre as áreas de cada município da Amazônia Legal impõe condicionantes à estimação. Municípios com maiores dimensões devem apresentar áreas desmatadas maiores quando comparados aos municípios com menores dimensões. Tendo em vista esse efeito, optou-se por ponderar a área desmatada no período t pela área de cada município. As variáveis relativas ao rebanho e à quantidade de soja produzida também foram ponderadas pela área municipal e pela área plantada das culturas temporárias e permanentes, respectivamente. Assim como em (Hargrave; Kis-Katos, 2013), ponderou-se o crédito pecuário e agrícola pela área do município desflorestada na expressão (9). Na expressão (10) optou-se por ponderar o volume de crédito pecuário e agrícola pelo rebanho e área plantada das culturas temporárias e permanentes, respectivamente.

Uma vez que o desmatamento é medido entre agosto de um ano ($t-1$) e julho do ano seguinte (t), os preços da soja e do boi gordo foram ajustados a essa janela. Ademais, optou-se por usá-los defasados em um período, dado o ciclo produtivo na Amazônia Legal. (Assunção *et al.*, 2016) descrevem que o período de seca na Amazônia ocorre de junho a setembro. A época de plantio ocorre entre outubro e dezembro, enquanto a colheita ocorre entre janeiro e maio do ano seguinte. Logo, os preços do ano anterior ($t-1$) e não os do ano atual (t) representam os valores observados pelos produtores no

momento que decidem o que e quanto vão produzir (Assunção; Rocha; Gandour, 2012; Bragagnolo, 2006).

2.4 BASE DE DADOS

O período de análise deste estudo compreende os anos de 2006 a 2014. Este período foi selecionado devido à disponibilidade de dados para a análise. Os dados relativos ao desmatamento foram retirados 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 para mensurar o desmatamento. Os dados calculados medem a área desmatada entre 1º de agosto de um ano (ano $t-1$) até 31 de julho do ano seguinte (ano t).

Os dados concernentes aos preços da saca de soja (medido em 60 quilogramas) e do boi gordo (medido em 15 quilogramas) são provenientes da consultoria Agrolink. Esses são reportados como a média estadual mensal. Para atribuir-se o preço anual em cada município, calculou-se a distância entre o município em questão e os municípios compradores de boi gordo e soja. A partir da identificação do município comprador com menor distância do município i , utilizou-se o valor para o estado ao qual o município comprador se localiza como sendo o preço para o município i . A influência dos preços sobre o desmatamento tem relação com a receita que os produtores esperam obter por meio da produção nas áreas desflorestadas (Carvalho; Magalhães; Domingues, 2016; Valente, 2012).

As informações referentes ao crédito rural, por sua vez, provêm do Anuário Estatístico do Crédito Rural e da Matriz de Dados do Crédito Rural (MDCR). Ambas as pesquisas são divulgadas pelo Banco Central do Brasil (BCB).

Os dados para rebanho e produção agrícola municipal foram obtidos junto ao IBGE. Os dados para o Produto Interno Bruto (PIB) Municipal e para a População residente nos municípios, também são do IBGE. Por fim, uma variável que representa a possibilidade de ganho nos municípios com a exploração de atividades agrícolas foi calculada. Para tanto, utilizou-se o Produto Interno Bruto (PIB) Agrícola Municipal – Culturas temporárias e permanentes – dividido pela área plantada, com ambos dados

obtidos junto ao IBGE. Assim, considerou-se que esta variável consiste em um indicador das possibilidades de ganho econômico com a exploração de cada unidade de área desmatada. Neste estudo, convencionou-se chamar esta variável de “produtividade agrícola”. Todas as variáveis utilizadas entraram nos cálculos do modelo em logaritmos naturais. O Quadro 1 resume as variáveis utilizadas, suas descrições e as fontes de obtenção.

Quadro 1. Relação das variáveis utilizadas para o cálculo do modelo, descrição e fontes de dados utilizados para o cálculo

Variável	Descrição	Fonte
Desmatamento	Área total desflorestada anualmente por município em Km ²	INPE/PRODES
Participação Floresta	Participação anual da área de floresta na área total do município em Km ² .	IBGE
Quantidade Soja Produzida	Produção anual total de soja do município em toneladas	IBGE
Preço da soja	Preço médio anual da saca de soja de 60 quilogramas no período da decisão de plantio do produtor	Agrolink
Preço do boi gordo	Preço do boi gordo por cada 15 quilogramas no período da decisão econômica do produtor	Agrolink
Crédito Pecuário/Área Municipal – Área Floresta	Crédito oficial anual total concedido aos produtores pecuários do município dividido pela área municipal descontada da área de floresta	BCB e IBGE
Crédito Agrícola/Área Municipal – Área Floresta	Crédito oficial anual total concedido aos produtores agrícolas do município dividido pela área municipal descontada da área de floresta	BCB e IBGE
Crédito Pecuário/Rebanho	Crédito oficial anual total concedido aos produtores pecuários do município dividido pelo número de cabeças que compõem o rebanho	BCB e IBGE
Crédito Agrícola/Área Plantada da Soja	Crédito oficial anual total concedido aos produtores pecuários do município dividido pela área plantada com soja	BCB e IBGE
Rebanho/Área Municipal	Rebanho total de bovinos do município no ano dividido pela área do município	IBGE
PIB <i>per capita</i>	Produto Interno Bruto anual municipal dividido pelo número de habitantes	IBGE
Produtividade agrícola	Produto Interno Bruto Agrícola Municipal - Culturas temporárias e permanentes - anual dividido pela área plantada municipal	IBGE

Fonte: Elaborado pelos Autores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o período estudado, 2006 a 2014, ocorreram diversas mudanças institucionais visando o combate do desmatamento na Amazônia Legal. De acordo com a literatura, as mudanças ocorridas em 2004 e 2008 aparentam ter modificado a trajetória da área desmatada nos anos seguintes (Assunção; Rocha; Gandour, 2012; Assunção *et al.*, 2016; Barreto; Silva, 2010; Miragaya, 2013). A fim de testar a existência de quebra estrutural na relação entre o desmatamento na Amazônia Legal e o incentivo à produção agrícola e pecuária foi realizado o teste de Chow. Tendo em vista que o primeiro ano apontado na literatura como de mudança estrutural é 2004 e a amostra de dados disponível começa em 2006, apenas uma quebra estrutural foi testada, no caso, a ocorrida em 2008.

A Tabela 1 apresenta as estatísticas do teste de Chow, em que se considerou o ano de 2009 como o ponto de mudança de regime. 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, foi 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. Já os novos requerimentos de acesso ao crédito tornaram-se obrigatórios em julho de 2008, embora a resolução tenha sido publicada em fevereiro de 2008 (Assunção *et al.*, 2016). Logo, os efeitos das novas regras institucionais sobre o desmatamento começaram a ter maior influência a partir do segundo trimestre de 2008. Para o caso da estimação proposta nesse trabalho, os efeitos têm maior influência em 2009, que compreende o período entre agosto de 2008 a julho de 2009, bem como os períodos posteriores.

Tabela 1. 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	(9)	31,59177***	1,7183	2,0120	2,6441
2009	(10)	21,43165***	1,7757	2,1010	2,8068

ns corresponde à não rejeição de H₀, (*) corresponde à rejeição de H₀ com 10% de significância, (**) corresponde à rejeição de H₀ com 5% de significância e (***) corresponde à rejeição de H₀ com 1% de significância.

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Conforme pode-se observar na Tabela 1, o resultado do teste de Chow aponta para a existência de uma quebra estrutural no ano de 2009, que está de acordo com o relatado em outros estudos disponíveis na literatura. Assim, a amostra foi dividida em dois períodos: de 2006 a 2008 e de 2009 a 2014 e as expressões (9) e (10) foram estimadas separadamente para os dois períodos propostos.

A fim de verificar a existência de quebras estruturais nas expressões (9) e (10) de acordo com os valores da variável de limiar, realizou-se o teste proposto por Hansen (1999)³. As Tabelas 2 e 3 apresentam os resultados para as variáveis de limiar PIB *per capita* e produtividade agrícola.

Tabela 2. Testes F para existência de efeitos da variável de limiar PIB *per capita* nas equações do desmatamento da Amazônia Legal

Mo- delo	Período	Número de limiares	Estatís- tica	Valor Crítico de F (10% de significância)	Valor Crítico de F (5% de significância)	Valor Crítico de F (1% de significância)
(9)	2006 - 2008	1	46,29***	32,14	35,94	45,66
(9)	2006 - 2008	2	-	-	-	-
(10)	2006 - 2008	1	34,15**	29,66	33,93	42,39
(10)	2006 - 2008	2	-	-	-	-
(9)	2009 - 2014	1	40,76***	26,66	29,16	34,53
(9)	2009 - 2014	2	34,99**	24,13	27,75	33,39
(10)	2009 - 2014	1	36,77***	23,36	26,32	32,64
(10)	2009 - 2014	2	34,29*	27,31	34,49	43,42

ns corresponde à não rejeição de H₀, (*) corresponde à rejeição de H₀ com 10% de significância, (**) corresponde à rejeição de H₀ com 5% de significância e (***) corresponde à rejeição de H₀ com 1% de significância.

Fonte: Elaborado pelos Autores.

³ Os testes e a estimação dos modelos foram feitos por meio do processo de minimização da soma dos quadrados dos resíduos com a divisão da amostra entre 300 quantis. Cada regime deve ser composto por no mínimo 1% da amostra e os testes F foram construídos com 300 simulações via *bootstrap*.

De acordo com a Tabela 2, ambas equações apresentam pelo menos um ponto de mudança, devido aos valores do PIB *per capita*, nos períodos anteriores e posteriores à quebra estrutural de 2009. Logo, os efeitos dos incentivos da agropecuária sobre o desmatamento não são homogêneos entre os 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.

Tabela 3. Testes F para existência de efeitos da variável de limiar produtividade agrícola nas equações do desmatamento da Amazônia Legal

Mo- delo	Período	Número de Limiares	Estatís- tica	Valor Crítico de F (10% de significância)	Valor Crítico de F (5% de significância)	Valor Crítico de F (1% de significância)
(9)	2006 - 2008	1	68,75***	34,56	38,13	48,07
(9)	2006 - 2008	2	-	-	-	-
(10)	2006 - 2008	1	66,31***	29,87	35,07	42,72
(10)	2006 - 2008	2	-	-	-	-
(9)	2009 - 2014	1	27,35*	25,40	30,76	36,96
(9)	2009 - 2014	2	20,71ns	24,47	28,86	35,42
(10)	2009 - 2014	1	21,96*	21,41	24,46	27,65
(10)	2009 - 2014	2	17,64ns	20,83	23,03	28,49

ns corresponde à não rejeição de H₀, (*) corresponde à rejeição de H₀ com 10% de significância, (**) corresponde à rejeição de H₀ com 5% de significância e (***) corresponde à rejeição de H₀ com 1% de significância.

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Quanto a segunda variável de limiar, a produtividade agrícola cujos resultados podem ser vistos na Tabela 3, tem-se uma estrutura similar à do PIB *per capita*. Em todos os modelos estimados, uma não linearidade foi identificada. Assim, a produtividade agrícola condicionaria o impacto das culturas primárias desenvolvidas na Amazônia Legal sobre o desmatamento. Os resultados ainda apontam que os municípios da região podem ser divididos em dois grupos distintos.

A Tabela 4 apresenta os valores que delimitam os grupos de acordo com a produtividade agrícola e o PIB *per capita*.

Tabela 4. Valores limiares das variáveis PIB *per capita* e produtividade agrícola (em logaritmos neperianos)

Mo- delo	Período	1º Limiar do PIB <i>per</i> <i>capita</i>	Valor do 1º Limiar do PIB <i>per</i> <i>capita</i> ¹	Limiar da Produtividade Agrícola	Valor do Limiar da Produtividade Agrícola ¹	2º Limiar do PIB <i>per</i> <i>capita</i>	Valor do 2º Limiar do PIB <i>per</i> <i>capita</i> ¹
(9)	2006 - 2008	8,31	4.064,31	11,34	84.120,03	-	-
(9)	2009 - 2014	8,37	4.315,63	13,67	864.580,76	8,70	6.002,91
(10)	2006 - 2008	8,17	3.533,34	11,34	84.120,03	-	-
(10)	2009 - 2014	8,37	4.315,63	11,87	142.914,23	8,70	6.002,91

ns corresponde à não rejeição de H0, (*) corresponde à rejeição de H0 com 10% de significância, (**) corresponde à rejeição de H0 com 5% de significância e (***) corresponde à rejeição de H0 com 1% de significância.

¹ Em reais deflacionados para 2014

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Em relação ao PIB *per capita*, de 2006 a 2008, o valor que delimita os grupos foi de R\$ 4.064,31 para a expressão (9) e R\$ 3.533,34 para a expressão (10). 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 grupo.

Com relação à produtividade agrícola, no período de 2006 a 2008, ambos modelos apresentaram limiares de R\$ 84.120,03. Para o período de 2009 a 2014, diferentemente do que ocorreu com o PIB *per capita*, os modelos apresentaram apenas uma variável de limiar. Apesar da mesma estrutura de inflexão, o valor da variável de limiar estimado por meio da expressão (9) é 604,96% maior do que o estimado por meio da expressão (10). Na Tabela 5 apresenta-se a estimação das expressões (9) e (10) para os períodos de 2006 a 2008 e de 2009 a 2014.

Tabela 5. Estimação das funções do desmatamento com variável de limiar PIB *per capita* para 2006 a 2008 e 2009 a 2014 (erros padrões robustos com clusters)

Variável (em logaritmo natural)	Regime	Coeficiente Expressão (9)	Coeficiente Expressão (10)	Coeficiente Expressão (9)	Coeficiente Expressão (10)
		2006 a 2008		2009 a 2014	
Constante	-	16,0447*** (5,4830)	17,7064*** (5,2400)	-1,9427ns (1,2275)	-1,7080ns (1,1624)
Participação Floresta	-	0,2237*** (0,0663)	0,2413*** (0,0688)	1,3910*** (0,1329)	1,4059*** (0,0131)
Quantidade Soja Produzida	-	0,0681* (0,0346)	0,0671* (0,0343)	0,0277** (0,0133)	0,0269** (0,0132)
Preço da soja	1	5,4740* (2,7933)	16,3284** (6,8505)	3,5518** (1,7890)	3,0524* (1,5762)
	2	1,8322**	2,1868***	1,4735***	1,4843***

	3	(0,8342) -	(0,7974) -	(0,4477) 0,4184*** (0,1295)	(0,4363) 0,4090*** (0,1289)
Preço do boi gordo	1	-9,1460*** (3,2802)	-20,6604*** (7,0177)	-3,6344** (1,5775)	-3,2771** (1,4393)
	2	-6,3595*** (1,9493)	-7,1553*** (1,8510)	-2,0708*** (0,5026)	-1,9738*** (0,5092)
	3	-	-	-1,1164*** (0,2644)	-1,0855*** (0,2626)
Crédito Pecuário/Área Municipal – Área Floresta	1	-0,1854** (0,0929)	-	-0,3117*** (0,0801)	-
	2	-0,0830ns (0,0521)	-	0,0223 ns (0,0577)	-
	3	-	-	-0,0191ns (0,0246)	-
Crédito Agrícola/Área Municipal – Área Floresta	1	0,0915ns (0,1961)	-	0,1645** (0,0812)	-
	2	0,0199ns (0,0206)	-	0,0379 ns (0,0412)	-
	3	-	-	-0,0263 ns (0,0200)	-
Crédito Pecuário/Rebanho	1	-	0,2066ns (0,4239)	-	-0,2900*** (0,0656)
	2	-	-0,0692* (0,0376)	-	0,0416ns (0,0557)
	3	-	-	-	-0,0227ns (0,0260)
Crédito Agrícola/Área Plantada da Soja	1	-	0,3904ns (0,2574)	-	0,1242* (0,0691)
	2	-	0,0064ns (0,0138)	-	-0,0321ns (0,0221)
	3	-	-	-	-0,0212 ns (0,0154)
Rebanho/Área Municipal	1	-0,8122*** (0,2427)	-	0,4351*** (0,1160)	-
	2	-0,1157 ns (0,1179)	-	0,0935 ns (0,0931)	-
	3	-	-	0,1040 ns (0,1157)	-
Teste F		8,68***	19,65***	12,95***	17,53***

ns corresponde à não rejeição de H0, (*) corresponde à rejeição de H0 com 10% de significância, (**) corresponde à rejeição de H0 com 5% de significância e (***) corresponde à rejeição de H0 com 1% de significância.

Fonte: Elaborado pelos Autores.

De forma geral, os resultados da Tabela 5 apontam que, para o período entre 2006 e 2008, a cultura da soja foi indutora do desmatamento. Variações na quantidade produzida relacionaram-se ao aumento da área desmatada, assim como o preço pago pela *commodity*. Nesse aspecto, embora os parâmetros para o preço difiram em ambas as equações, o estímulo que as variações de preço conferem ao desmatamento foi inferior

para o 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 PIB *per capita*. O comportamento encontrado corrobora a hipótese de que o desmatamento da Amazônia se comporta como um “U” invertido, em relação ao desenvolvimento.

Os resultados do modelo para o período entre 2006 e 2008 apontam que, assim como em Bouchardet, Porsse e Timofeiczky-Júnior (2016) e Ferreira e Coelho (2015) e Assunção, Rocha e Gandour (2012), o impacto de variações positivas no preço do boi gordo acarretaria reduções do desmatamento. Assunção, Rocha e Gandour (2012) advogam que a produção pecuária 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; Timofeiczky-Júnior, 2016). Entretanto, a elasticidade do segundo regime foi superior à 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 com relação ao impacto da atividade pecuária para o período entre 2006 e 2008, o parâmetro relativo ao rebanho no segundo regime foi não significativo, enquanto esse foi negativo no primeiro.

Por fim, embora as duas equações para o período entre 2006 e 2008 tenham sido estimadas com medidas diferentes para o crédito agrícola, ambas apresentaram comportamentos semelhantes. O crescimento do crédito agrícola por área disponível não apresentou relação significativa com as alterações no desmatamento em ambos os grupos de municípios. O mesmo não ocorreu para o crédito pecuário. A expressão (9) mostra um impacto negativo do crédito no primeiro regime enquanto a expressão (10) para um impacto negativo no segundo regime. Logo, o aumento do crédito por área do município aparenta estar relacionado à retração do desmatamento nos municípios de menor renda, enquanto o crédito por cabeça de gado relaciona-se às reduções do desmatamento nos municípios mais ricos.

De qualquer forma, no período entre 2006 e 2008 ocorreram 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 sobre 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 em 2008 alterou novamente a percepção dos produtores sob os estímulos a desmatar.

Com relação a estimação das expressões (9) e (10) para o período de 2009 a 2014 ressalta-se que, diferentemente do período anterior, duas não linearidades foram encontradas. Os resultados apontam para 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, o que resultaria em um formato similar ao de um “U” invertido.

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

A estimação das expressões (9) e (10) aponta, ainda, um impacto positivo da quantidade produzida de soja sobre a área desmatada, enquanto a densidade do rebanho apresenta impacto positivo no regime inicial. Sendo assim, nos municípios com menores níveis de renda, o aumento do rebanho se dá via expansão da área de pastagem. Além disso, em ambas as equações, a expansão do crédito pecuário esteve associada à queda do desmatamento nos municípios do primeiro regime. Nos regimes posteriores, a relação entre as duas não foi significativa.

Já o crédito agrícola apresenta comportamento contrário. O primeiro regime apresenta impacto positivo dessa variável sobre o desmatamento, enquanto nos demais a relação não é significativa. Tal resultado poderia ser associado a efetividade das políticas adotadas em 2008.

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 à elevação do desmatamento dado 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 foi associado ao retorno entre a expansão das culturas produtivas em direção a floresta por parte dos municípios mais pobres.

A Tabela 6 apresenta as expressões (9) e (10) estimadas com a produtividade agrícola como variável de limiar. Assim como ocorreu no caso do PIB *per capita*, no segundo regime, o preço da soja apresentou menor influência sobre a área desmatada. O preço do boi gordo também apresenta a mesma estrutura com ambos os parâmetros negativos e coeficiente com valores inferiores no segundo regime.

Tabela 6. Estimação da Função do Desmatamento com Variável de Limiar Produtividade Agrícola para 2006 a 2008 e 2009 a 2014 (Erros Padrões Robustos com *clusters*).

Variável (em logaritmo natural)	Regime	Coeficiente Expressão (9)	Coeficiente Expressão (10)	Coeficiente Expressão (9)	Coeficiente Expressão (10)
		2006 a 2008		2009 a 2014	
Constante	-	15,2671*** (5,3501)	14,4034*** (5,3524)	-2,5913** (1,2130)	-1,7689ns (1,1492)
Participação Floresta	-	0,2431*** (0,0733)	0,2484*** (0,0719)	1,4902*** (0,1316)	1,1461*** (0,1341)
Quantidade Soja Produzida	-	0,0663* (0,0346)	0,0653* (0,0343)	0,0283** (0,0126)	0,0259** (0,0128)
Preço da soja	1	9,4446*** (2,6810)	10,3244*** (2,9494)	0,6236*** (0,1240)	1,7595*** (0,4206)
	2	1,7707** (0,8159)	1,7235** (0,8137)	-0,5128** (0,4513)	0,4455*** (0,1211)
Preço do boi gordo	1	-14,5309*** (3,0508)	-16,1597*** (3,2117)	-1,1286*** (0,2613)	-2,3097*** (0,4729)
	2	-6,0805*** (1,9024)	-6,0126*** (1,8906)	0,0081ns (0,4683)	-1,0831*** (0,2600)
Crédito Pecuário/Área Municipal – Área Floresta	1	-0,2193ns (0,1862)	-	-0,0253ns (0,0253)	-
	2	-0,0884ns (0,0451)	-	-0,0327ns (0,0632)	-
Crédito Agrícola/Área Municipal – Área Floresta	1	1,1935*** (0,3349)	-	-0,0118ns (0,0187)	-
	2	0,01229ns (0,0220)	-	-0,1933*** (0,0441)	-
Crédito Pecuário/Rebanho	1	-	-0,2045ns (0,2661)	-	-0,1478* (0,0892)
	2	-	-0,0603ns (0,0378)	-	-0,0152ns (0,0236)
Crédito Agrícola/Área Plantada	1	-	1,2231***	-	0,0936ns

da Soja			(0,3240)		(0,0614)
	2	-	0,0035ns	-	-0,0226ns
			(0,0138)		(0,0138)
	1	-0,2575 ns	-	0,1150 ns	-
		(0,4338)		(0,1077)	
Rebanho/ Área Municipal	2	-0,1561 ns	-	0,1311 ns	-
		(0,1091)		(0,1242)	
Teste F		33,99***	19,46***	16,61***	17,24***

ns corresponde à não rejeição de H₀, (*) corresponde à rejeição de H₀ com 10% de significância, (**) corresponde à rejeição de H₀ com 5% de significância e (***) corresponde à rejeição de H₀ com 1% de significância.

Fonte: Elaborado pelos Autores.

O crédito pecuário para o período entre 2006 e 2008, assim como a densidade do rebanho, não apresenta resultados significativos, em todos os regimes dos dois modelos. Já o crédito agrícola apresenta parâmetros significativos e positivos no primeiro regime para ambas as equações.

Para o período entre 2006 e 2008 à medida que a produtividade agrícola aumentou os estímulos para a conversão de floresta em áreas destinadas à produção agropecuária reduziram. Esse fenômeno ocorreu principalmente na cultura da soja. A produção bovina não foi afetada pela elevação da produtividade agrícola, uma vez que os parâmetros relacionados à atividade 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 agropecuário na Amazônia Legal colaboraram com a redução do desmatamento.

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 expressão (9) não foram significativos. Com relação à densidade do rebanho, assim como no período anterior, essa não teve impacto sobre o desmatamento quando a variável de limiar em questão é a produtividade agrícola. No que tange ao crédito, apenas dois parâmetros foram significativos em ambas as equações. O primeiro foi a relação crédito agrícola por área de floresta no segundo regime da expressão (9) e crédito pecuário por rebanho no primeiro regime da expressão (10). Logo, mesmo com o diferencial entre os dois limiares das equações, essas apresentaram estruturas parecidas.

O crédito, cujo impacto no período anterior foi 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 n. 3.545 de 29 de fevereiro de 2008 (CMN, 2008).

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 as especificações. O regime intermediário, que surgiu em 2009, também decresceu ao longo do tempo. Em 2014, apenas um município dentre os que detinham 10% da área municipal com floresta em 2004 estava no primeiro regime. Dentre todos os municípios da Amazônia Legal, apenas sete encontravam-se no primeiro regime. Assim, uma vez que o primeiro regime apresentou maior sensibilidade da área de floresta a variações nas culturas agropecuárias, a transição dos municípios para o terceiro regime corrobora com a hipótese do desenvolvimento como fonte de redução do impacto ao meio ambiente, conforme previsto pela CKA. A Tabela 7 apresenta a classificação dos municípios de acordo com os regimes estabelecidos pelo PIB *per capita*.

Tabela 7. Municípios da Amazônia Legal classificados em regimes de acordo com a variável de limiar PIB *per capita*

		R\$ per capita									
Modelo		Limiar	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
(9)	Part. da área de 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
(9)	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
(10)	Part. da área de 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
(10)	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: Elaborado pelos Autores.

Em 2009, os municípios dos primeiros regimes encontravam-se no Amazonas, norte do Pará e Maranhão. Em 2014, grande parte dos municípios desses estados se deslocaram para o regime 3. A Tabela 8 apresenta a classificação dos municípios de

acordo com a variável limiar que denota a produtividade.

Tabela 8. 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
(9)	Part. da área de floresta no município em 2004 maior que 10 %	1	5	6	0	369	365	365	363	350	345
		2	369	368	374	5	9	9	11	24	29
(9)	Amazônia Legal	1	28	18	13	744	744	741	738	712	709
		2	732	742	747	16	16	19	22	48	51
(10)	Part. da área de floresta no município em 2004 maior que 10 %	1	5	6	0	49	45	34	32	23	31
		2	369	368	374	325	329	340	342	351	343
(10)	Amazônia Legal	1	28	18	13	125	133	97	100	64	93
		2	732	742	747	635	627	663	660	696	667

Fonte: Elaborado pelos Autores.

Entre 2006 e 2008 a variável de limiar para as expressões (9) e (10) foram similares. Pode-se observar a mesma tendência de decréscimo de participação da 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 intensivos no uso de recursos naturais. Entre 2009 e 2014, a mesma tendência de decréscimo ocorreu nas expressões (9) e (10), embora a expressão (9) tenha apresentado limiar mais elevado do que a expressão (10). Logo, o aumento da produtividade agrícola propiciou um menor estímulo à degradação da Floresta Amazônica.

4 CONCLUSÃO

Este artigo abordou o impacto da Renda e da Produtividade sobre a relação entre produção e desmatamento na Amazônia Legal, a nível municipal. Para tanto, utilizou-se um modelo de dados em painel com efeitos fixos e variável de limiar. O período de análise abrangeu os anos de 2006 a 2014, devido à disponibilidade de dados. Cabe ressaltar que importantes alterações na legislação ambiental ocorreram no período.

Os resultados obtidos por meio da estimação econométrica apontaram para uma Curva de Kuznets Ambiental, que relaciona o desmatamento com o PIB *per capita*, na forma de um “U” invertido, conforme resultados obtidos anteriormente por Santos *et al.*

(2008), em que existe um aumento nos índices de desmatamento até um determinado nível de PIB *per capita*, a partir do qual passa a haver uma queda nestes índices de desmatamento. Resultados análogos foram obtidos para o caso em que se utilizou como variável de limiar a produtividade agrícola.

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.

REFERÊNCIAS

ANDERSEN, L. E. *et al.* **The Dynamics of Deforestation and Economic Growth in the Brazilian Amazon.** New York: Cambridge University Press, 2002.

ASSUNÇÃO, J. *et al.* **Does Credit Affect Deforestation? Evidence from a Rural Credit Policy in the Brazilian Amazon** Núcleo de avaliação de políticas climáticas - PUC-Rio. Rio de Janeiro, Brazil: [s.n.].

ASSUNÇÃO, J.; ROCHA, R.; GANDOUR, C. C. **Deforestation Slowdown in the Legal Amazon: Prices or Policies?** Rio de Janeiro: [s.n.].

BARRETO, P.; SILVA, D. **Will cattle ranching continue to drive deforestation in the Brazilian Amazon?** International Conference: Environment and Natural Resources Management in Developing and Transition Economies. **Anais...** Clermont Ferrand - France: Centre of Studies and Research on International Development from the University of Auvergne, 2010.

BOUCHARDET, D. A.; PORSE, A. A.; TIMOFEICZYK JÚNIOR, R. **Evidências sobre o impacto do fundo Amazônia no desmatamento da Amazônia Legal Brasileira.** Journal of Chemical Information and Modeling. **Anais...** Foz do Iguaçu: XXXIV Encontro Nacional de Economia - ANPEC, 2016.

BRAGAGNOLO, C. **Análise do armazenamento de arroz no Brasil sob condições de incerteza através de um modelo dinâmico de expectativas racionais.** [s.l.] Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2006.

BRASIL. **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 altera e acresce dispositivos ao Decreto nº 3.179, de 21 de setembro de 1999, que dispõe sobre a es.** Brasília, Distrito Federal, 2007.

CARVALHO, T. S.; MAGALHÃES, A. S.; DOMINGUES, E. P. Desmatamento e a contribuição econômica da floresta na Amazônia. **Estudos Econômicos**, v. 46, n. 2, p. 199–531, 2016.

CISNEROS, E.; HARGRAVE, J.; KIS-KATOS, K. **Unintended consequences of anti-corruption strategies: public fiscal audits and deforestation in the Brazilian Amazon** Working Paper. [s.l.: s.n.].

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.

DINIZ, M. B. *et al.* Causas do desmatamento da Amazônia: uma aplicação do teste de causalidade de Granger acerca da Amazônia Legal brasileira. **Nova Economia**, v. 19, n. 1, p. 121–151, 2009.

FERREIRA, P. M. D.; 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**, v. 53, n. 1, p. 91–108, 2015.

GIBBS, H. K. *et al.* Did Ranchers and Slaughterhouses Respond to Zero-Deforestation Agreements in the Brazilian Amazon? **Conservation Letters**, v. 8, n. 1, p. 1–18, 2015.

GROSSMAN, G.; KRUEGER, A. **Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement** National Bureau of Economic Research. Cambridge: [s.n.].

HANSEN, B. E. Threshold effects in non-dynamic panels: Estimation, testing, and inference. **Journal of Econometrics**, v. 93, p. 245–368, 1999.

HARGRAVE, J.; KIS-KATOS, K. Economic Causes of Deforestation in the Brazilian Amazon: A Panel Data Analysis for the 2000s. **Environmental and Resource Economics**, v. 54, n. 4, p. 471–494, 2013.

HOMMA, A. K. O. **História da Agricultura na Amazônia: Da era pré-colombiana ao terceiro milênio**. 1 ed. ed. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2003.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONOMICA APLICADA. **Avaliação do plano de ação para a prevenção e controle do desmatamento da Amazônia Legal**. Brasília: IPEA, 2012.

KUSSANO, M. R.; BATALHA, M. O. Custos logísticos agroindustriais: avaliação do escoamento da soja em grão do Mato Grosso para o mercado externo. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 3, p. 619–632, 2012.

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)**. [s.l.] Universidade de Brasília, 2013.

OLIVEIRA, R. C. DE *et al.* Desmatamento e crescimento econômico no Brasil: Uma análise da curva de Kuznets Ambiental para a Amazônia Legal. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 49, n. 3, p. 709–740, 2011.

PRATES, R. C.; BACHA, C. J. C. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. **Revista Economia e Sociedade**, v. 20, n. 3, p. 601–636, 2011.

RIVERO, S. *et al.* Pecuária e desmatamento: Uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova Economia**, v. 19, n. 1, p. 41–66, 2009.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: Subsídios para planejamento ambiental**. 1 ed. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2006.

SANTOS, R. B. N. *et al.* **Estimativa da curva de Kuznets ambiental para a Amazônia legal**. 46th Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER). **Anais...** Rio Branco, Acre: Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), 2008.

SEROA DA MOTTA, R. **Padrão de consumo, distribuição de renda e o meio ambiente no Brasil** Texto para discussão. Rio de Janeiro: [s.n.].

TERSITSCH, M. E. C. **The Impact of Public Policies on Deforestation in the Brazilian Amazon**. [s.l.] University of Bonn, 2017.

VALENTE, L. C. M. **Mudanças nos usos da terra no Brasil entre 1995 e 2006**. [s.l.] Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

WALKER, R. *et al.* The Expansion of Intensive Agriculture and Ranching in Brazilian Amazonia. Em: KELLER, M. *et al.* (Eds.). **Amazonia and Global Change**. Washington: American Geophysical Union, 2013. p. 61–81.