

ANÁLISE DA ÁREA DESMATADA MUNICIPAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA NO PERÍODO 2000-2004: UMA ABORDAGEM COM MODELOS NÃO LINEARES

JOSÉ NILO DE OLIVEIRA JÚNIOR^{*}, MARCELO BENTES DINIZ[†], ROBERTO TATIWA FERREIRA[‡], IVAN CASTELAR[§], MÁRCIA JUCÁ TEIXEIRA DINIZ[¶]

Resumo

Existe uma certa assimetria na distribuição do desmatamento da Amazônia Legal brasileira, concentrando-se particularmente nos estados do Mato Grosso, Pará e Rondônia, o que estaria, em princípio, associado a certas características comuns de suas atividades produtivas predominantes, como a pecuária, a exploração madeireira e, mais recentemente, a expansão da produção de grãos. Todavia, pode-se indagar se é possível a formação de grupos de economias municipais com características semelhantes, quanto às causas ligadas ao desmatamento. Com este objetivo em mente, procura-se neste artigo testar a hipótese de convergência em clubes a partir das áreas desmatadas dos municípios da Amazônia Legal no período de 2000 a 2004. A fim de alcançar o objetivo proposto foi utilizado um modelo com efeito limiar (*threshold*) baseado em Hansen (2000). Os resultados empíricos corroboram a hipótese levantada, no que concerne a formação de quatro clubes de convergência.

Palavras-chave: Amazônia Legal, Desmatamento, Convergência

Abstract

There is a great amount of asymmetry in the distribution of deforestation in the Brazilian Legal Amazon, particularly in the states of Mato Grosso, Pará and Rondônia, what it would be, in principle, associate with certain common characteristics of their productive activities such as cattle, timber cutting and, more recently, the expansion in the production of grains. However, it can be inquired if municipalities with similar economic characteristics can be grouped as clubs with respect to deforestation. The goal of this article was to test the club convergence hypothesis of deforested areas in the cities of the Legal Amazon in the period of 2000 to 2004. In order to reach the objectives considered, a threshold model based in Hansen (2000) was used. The empirical results corroborate the hypothesis, with respect to formation of four clubs of convergence.

Keywords: Amazonia, Deforestation, Convergence

JEL classification: R11, Q50

^{*} PPGEconomia, Universidade Federal do Pará, email: josenilo@ufpa.br.

[†] PPGEconomia, Universidade Federal do Pará, email: mbdiniz@ufpa.br

[‡] Universidade Federal do Ceará, email: rtf2@uol.com.br

[§] Universidade Federal do Ceará.

[¶] PPGEconomia, Universidade Federal do Pará, email: mjucadiniz@hotmail.com

1 Introdução

A média das estimativas das taxas anuais de desmatamento publicadas pelo INPE, a partir do Projeto de Monitoramento do Deflorestamento da Amazônia Legal – PRODES, no período de 2000 a 2004, foi de 26.157 km². Considerando o acumulado até àquela data, isto correspondia a cerca de 18% do território da Amazônia Legal, ou quase 700 mil km².

Historicamente, entretanto, é a partir da década de 1980, que o processo de desmatamento ganha uma maior intensidade e abrangência espacial, movido pela lógica da valorização econômica do território ocupado e pela maximização dos resultados privados da exploração dos recursos naturais, especialmente pelas atividades madeireira e pecuária (Becker 2006).

Todavia, no período recente, entre 1988 e 2006, a contribuição dos estados para o desmatamento da Amazônia, é bastante assimétrica. Assim, enquanto os estados do Mato Grosso, Pará e Rondônia, eram responsáveis por 82% do total da área desmatada, em proporção muito menor apareciam os estados do Maranhão (cerca de 6%), Amazonas (4,90%), Acre (3,1%), Tocantins (2,5%), Roraima (1,5%) e Amapá (0,5%) .

Entre os fatores apontados como explicativos da heterogeneidade do espaço do desmatamento estão os aspectos relacionados às características naturais (relevo, clima, solo, condições de acesso) ; como também, as diferenças e semelhanças das dinâmicas econômicas das atividades produtivas dominantes, que acabaram por se traduzir em diferenças quanto ao padrão de uso do solo, ocupação e, por essa via, das forças impulsionadoras do desmatamento em cada caso. Nesta direção, por exemplo, cerca de 85% do rebanho bovino da Amazônia está concentrado apenas nos estados de Mato Grosso, Pará, Tocantins e Rondônia (Arima et al. 2005).

Ressalta-se que esta conformação territorial e ocupacional está também relacionada, direta ou indiretamente, aos meios de acesso à região e como estes vão servindo de canalizadores do processo migratório, do crescimento demográfico e dos adensamentos urbanos. Neste particular, aparecem as iniciativas de colonização públicas e privadas que conjugaram, de forma muitas vezes ilegal, grileiros de terra, madeireiros, garimpeiros e pecuaristas, em um processo de legalização da expropriação fundiária e do desmatamento da floresta (Oliveira 2005).

Nas décadas de 80 e 90 ocorre a integração econômica do espaço amazônico, com a apropriação física do seu território, através da implantação da malha rodoviária, da rede de telecomunicações, da indução dos fluxos migratórios e da atração de capitais, via incentivos fiscais e creditícios dos grandes projetos implantados na região (Becker 1990).

Assim, a dinâmica dos estados da chamada Amazônia Oriental tem sido marcada por atividades de caráter extensivo; particularmente a pecuária e a exploração madeireira, e mais recentemente pela substituição de áreas de pastagem por culturas temporárias, em virtude dos altos preços alcançados por algumas destas *commodities* nos mercados internacionais. O que se contrapõe, em grande medida, à realidade do espaço da Amazônia Ocidental, construído sob forte influência da Zona Franca e do Pólo Industrial de Manaus, com um custo ambiental em termos de desmatamento muito menor (Rivas et al. 2008).

Portanto, como sustenta Fearnside (2007), o desmatamento toma lugar na Amazônia no contexto de uma diversa coleção de atores com uma grande diferença entre localizações e em termos de responsabilidades.

A motivação deste artigo, portanto, é investigar empiricamente a formação de grupos de desmatamento a partir de economias municipais, e verificar qual o papel das principais variáveis apontadas pela literatura como importantes para explicar o processo de desmatamento neste processo.

A metodologia utilizada neste artigo se baseia em uma equação de convergência com efeito limiar, ou *threshold* (Hansen 2000), a qual permite testar a hipótese da formação de clubes de convergência a partir das áreas desmatadas dos municípios da Amazônia Legal no período de 2000 a 2004.

A principal vantagem da metodologia desenvolvida por Hansen é a existência de uma estatística de teste fundamentada na teoria assintótica e com comportamento em pequenas amostras analisado através de simulações de Monte Carlo.

Além desta introdução o artigo é composto por mais cinco seções. A seção 2 trata da discussão sobre as causas do desmatamento; a seção 3 traz uma discussão teórica acerca do modelo de crescimento utilizado; a seção 4 descreve o modelo econométrico utilizado; a seção 5 traz a descrição das variáveis e os dados utilizados; a seção 6 apresenta os resultados empíricos e, por fim, a seção 7 apresenta as considerações finais do artigo.

2 Discussão acerca das causas do desmatamento

Existe um elenco muito grande de fatores e agentes que promovem o desmatamento da Amazônia (Fearnside 2007), muito embora alguns fatores sejam mais destacados do que outros, dependendo do recorte temporal que se faça do processo de desmatamento entre a década de 1970 e os dias atuais.

É acentuado que entre as décadas de 1970 e 1980, o principal vetor do desmatamento foi a expansão da fronteira agro-pecuária (Schmink & Wood 1992), motivada pela facilidade de crédito, propiciada pelos incentivos fiscais (Mahan 1979, Pikett et al. 2004), e reforçada pela correlação positiva entre a criação de corredores de acesso à região, a migração e a especulação fundiária (Hecht et al. 1985, Reis & Margullis 1991, Mattos & Uhl 1994, Young 1998).

Por outro lado, a legislação brasileira de certo modo estimulava o desmatamento, uma vez que a reivindicação da terra se dava a partir da comprovação produtiva de seu uso, provocando a conseqüente conversão da floresta em pasto.

A especulação fundiária e a abertura de estradas, decorrente da exploração madeireira, seriam processos que corroborariam o efeito da exploração pecuária sobre o desmatamento. Além do mais, o efeito da fronteira especulativa seria diretamente proporcional à falta da presença do estado.

Além disso, concorriam de forma positiva fatores como a eficiência e a adaptação do sistema forrageiro, vulgarmente chamado de “braquiarião”, com baixo custo e maior resistência às pragas e à própria experiência agropecuária do produtor na crença que esta atividade poderia quebrar o ciclo da pobreza (Pikett et al. 2004).

A partir da década de 1990, outros fatores de forma direta ou indireta passam a ter maior peso, como as incursões de natureza geopolítica do governo brasileiro sobre a região, a exemplo do programa Avança Brasil e o plano Brasil para Todos. Tais programas visavam a integração da região amazônica ao resto da economia nacional e mesmo à economia internacional (Becker 1990), possibilitando o aumento da correlação positiva entre crescimento econômico

do país e o desmatamento (Carvalho et al. 2001, Nepstad et al. 2000, Alencar et al. 2004).

Assim, mesmo com a interdição da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) em 2002 e a queda drástica dos incentivos e subsídios governamentais, outros fatores acabaram por sustentar a lucratividade da pecuária, tornando esta o fator de propulsão que alimentou a inércia do processo de desmatamento entre as décadas de 1990 e de 2000.

Entre os fatores que contribuiriam para essa elevada rentabilidade estariam o acesso relativamente fácil às terras públicas (Arima et al. 2005), tornando este ativo relativamente barato, juntamente com a baixa institucionalidade do cumprimento das restrições ambientais e das penalidades previstas em lei. Na realidade, como acentua Rodrigues (2004), a existência de elevados estoques de terras, a despeito da especulação fundiária, tornou o preço da terra estável durante toda a década de 90, só sofrendo um aumento na década seguinte, já em função da melhoria do acesso ao crédito e à expansão das áreas de cultivo e da produção pecuária mais intensiva em capital.

De fato, o Banco da Amazônia, mediante recursos do Fundo Constitucional de Financiamento do Norte (FNO), compensou em parte a diminuição dos subsídios públicos, com um alargamento do crédito para a agricultura, particularmente para a pecuária, que apropriou-se entre 1989 e 2002 de cerca de 40% de todos os recursos aplicados na região (Arima et al. 2005).

Por tudo isso, como mostrou Margulis (2003), a atividade pecuária de corte na Amazônia Oriental¹, ou na chamada fronteira consolidada, se tornou altamente rentável do ponto de vista privado, apresentando taxas de retorno superiores às da pecuária nas regiões tradicionais do país (Arima et al. 2005).

A rentabilidade da pecuária, por sua vez, aumentou a abertura de estradas; seja as criadas pelos próprios pecuaristas para baratear os custos de transportes, seja as estradas construídas por motivos geopolíticos, aumentando o desmatamento pela maior área de pasto e extração de madeira, assim como pela proliferação de povoados e de suas atividades de subsistência.

Além dos efeitos diretos e indiretos das atividades pecuária e madeireira sobre o desmatamento, outros fatores podem ser destacados. A lógica de desmatar para manter a posse da área e defender o investimento contra posseiros e contra a expropriação do governo; as formas de desmatamento que servem o propósito de lavagem de dinheiro, e a perda da cobertura vegetal oficial induzida pelo próprio governo, como é o caso das inundações provocadas pelas barragens hidroelétricas, são outros fatores que contribuem para o desmatamento.

Atualmente, entretanto, em função das próprias regras do mercado, no caso das *commodities* internacionais, outras atividades como a agricultura mecanizada para a exploração da produção de grãos, como a soja e o milho, ganham expansão na área plantada da região, especialmente pelo fato da sua utilização potencial para a fabricação de biodiesel.

A dinâmica do desenvolvimento da soja na região Amazônica em anos recentes é fruto do avanço da fronteira agrícola na direção norte, a partir do Mato Grosso para os estados fronteiriços como Pará e Amazonas, mas também para outros estados que apresentavam vantagens comparativas relevantes como Rondônia, Tocantins, Roraima e mesmo Maranhão (Fearnside 2006).

¹A Amazônia Oriental comporta os estados do Pará, Rondônia, Mato Grosso, Tocantins, e Amapá

A rota de expansão da soja sofre influência direta do reordenamento territorial do próprio estado do Mato Grosso e da atuação de grandes grupos econômicos na região; inclusive, com a implantação de plantas esmagadoras com maior escala de produção e as possibilidades de implantação de projetos de infra-estrutura como a Ferronorte (ligando Rondonópolis ao Porto de Santos); o asfaltamento da BR-163 (ligando Cuiabá ao Porto de Santarém) e a construção do Porto Graneleiro de Itacoatiara, abrindo a possibilidade para que a produção de soja seja escoada via BR-164 até Porto Velho e desta à Itacoatiara (Oliveira 2005, Arima et al. 2005).

Aliado aos fatores acima citados, a expansão da soja na região amazônica foi favorecida por outros elementos que concorrem para a redução de seus custos e aumento de sua competitividade relativa, como a topografia adequada à exploração agrícola mecanizada e o baixo custo de conversão de outros tipos de cultura agrícola e de pasto em terras apropriadas ao plantio (Puty et al. 2007).

Além disso, entre os anos de 2002 e 2003 houve um crescimento sustentado dos preços da soja, em decorrência da queda da safra americana, juntamente com o aumento da demanda provocada por países como a China, o que provocou uma mudança do padrão de crescimento dessa cultura no país, agora sustentada pelo incremento da área plantada (Brandão et al. 2005).

Também não menos importante foi a instalação de unidades de beneficiamento e comercialização de grande penetração no mercado, como a Cargill, Maggi, Bunge e ADM, o que facilitou o crédito e a própria comercialização para os produtores, inclusive os de pequena escala (Alencar et al. 2004). Em verdade, houve um deslocamento do segmento mais capitalizado da cadeia produtiva do Sul em direção ao Centro-Oeste e Norte do país.

Vale ressaltar, que essa nova dinâmica econômica, também é diferenciada na região amazônica, sendo fortemente centralizada nos estados do Mato Grosso, Rondônia e, mais recentemente no Pará, Tocantins e Maranhão.

3 O modelo teórico

Brock & Taylor (2004) apresentam o modelo de crescimento de Solow com variáveis ambientais, o qual estabelece uma relação entre crescimento econômico e a qualidade ambiental. Nas próximas linhas serão apresentados os aspectos mais relevantes deste modelo para o desenvolvimento do presente estudo. Considere que o produto da economia (Y) é gerado através de uma função de produção estritamente côncava e que exiba retornos constantes de escala; de maneira que,

$$\begin{aligned} Y &= F(K, BL) \\ \dot{K} &= sY - \delta K \\ \dot{L} &= nL \\ \dot{B} &= gB \end{aligned} \tag{1}$$

Onde, s , δ , n e g representam as taxas de poupança, de depreciação, de crescimento da população e do progresso tecnológico, respectivamente. Assumindo que uma unidade de produto (F) gera uma unidade de poluição (Ω) e que,

$$\begin{aligned}
 E &= \Omega F a(\theta), \\
 a(\theta) &= [1 - A(F, F^A)] \\
 \theta &= \frac{F^A}{F}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Onde E representa o nível de poluição emitido e $A(F, F^A)$ é uma função crescente e estritamente côncava que representa a capacidade dessa economia em reduzir poluição, e que possui como argumentos o produto (F) e o produto obtido ao se reduzir a poluição (F^A). Os autores mostram, sob certas condições, que se $g > 0$ e $gA > g + n$; então, no caminho do crescimento balanceado tem-se que $g_y = g_k = g_c = g$.

Os autores também mostram que, há uma equação de convergência para as emissões de poluição por pessoa (e_{it}), dada por,

$$\frac{1}{N} \log \left(\frac{e_{it}}{e_{it-N}} \right) = \beta_0 + \beta_1 \log(e_{it-N}) + \varepsilon_{it}
 \tag{3}$$

Na equação acima i indexa a i -ésima economia, N é um período de tempo discreto e ε é o termo de erro. A equação de convergência utilizada neste trabalho, a qual será apresentada na quinta seção, é uma versão *ad-hoc* da equação (3) na qual se substitui a emissão de poluentes pelo desmatamento e incluem-se possíveis variáveis explicativas dos determinantes do desmatamento.

4 Abordagem econômica

Há modelos que são baseados na idéia de que podem existir funções de produção que não sejam côncavas, permitindo diferentes equilíbrios de estado estacionário para diferentes condições iniciais. Um destes modelos é o de Azariadis-Drazen, que introduz um efeito *threshold* no processo de acumulação dos argumentos da função de produção.

Ao se considerar estas não linearidades o processo de convergência pode acontecer na forma de clubes (Galor 1997). Portanto, o processo de convergência pode assumir três formas distintas. Na convergência absoluta as áreas desmatadas nas unidades econômicas analisadas convergiriam para um mesmo nível no longo prazo, independentemente de suas condições iniciais. No caso da convergência condicional esse processo ocorreria entre as unidades econômicas com características estruturais idênticas, independentemente de suas condições iniciais. Por fim, nos clubes de convergência esse processo ocorreria entre as unidades econômicas com características estruturais idênticas e com condições iniciais similares.

Este trabalho emprega o modelo de efeito limiar (*threshold*) e o procedimento de teste para verificar se este modelo é preferível ao modelo linear proposto por Hansen (2000), para testar se há clubes de convergência na taxa de desmatamento dos municípios da Amazônia Legal.

O modelo proposto por Hansen (2000) permite a divisão da amostra baseada em uma função indicadora, a qual utiliza variáveis observáveis, definidas previamente, como determinantes na divisão da amostra em subgrupos. As equações a seguir descrevem o modelo e as técnicas de inferência estatística necessárias para a análise empírica proposta neste trabalho.

O modelo de regressão com efeito *threshold*, pode ser expresso como,

$$y_i = \theta'_1 x_i + e_i, \quad q_i \leq \gamma \tag{4}$$

$$y_i = \theta'_2 x_i + e_i, \quad q_i > \gamma \tag{5}$$

Onde q_i é a variável *threshold* a qual é usada para dividir a amostra em dois grupos que podem ser chamados de classes ou regimes. A variável aleatória e_i é o erro de regressão.

Para escrever o modelo em uma única equação, define-se a variável *dummy* $d_i(\gamma) = I\{q_i \leq \gamma\}$, onde $I\{\cdot\}$ é uma função indicadora, e faz-se $x_i(\gamma) = x_i d_i(\gamma)$, tal que,

$$y_i = \theta'_2 x_i + \delta'_n x_i(\gamma) + e_i \quad \therefore \delta_n = \theta_2 - \theta_1 \tag{6}$$

A equação (6) pode ser representada na forma matricial. Isto é, Y e e são vetores ($n \times 1$); X e X_γ matrizes com dimensão ($n \times m$); então, a equação (6) pode ser escrita como,

$$Y = X\theta + X_\gamma \delta_n + e \tag{7}$$

Os parâmetros da equação acima (θ, δ_n, γ) podem ser estimados por mínimos quadrados. Definindo $S_n(\theta, \delta, \gamma) = (Y - X\theta - X_\gamma \delta)'(Y - X\theta - X_\gamma \delta)$, como a função de soma de quadrados dos erros, por definição os estimadores de mínimos quadrados $\hat{\theta}, \hat{\delta}, \hat{\gamma}$, minimizam a soma acima. Neste processo, assume-se que γ é restrito a um conjunto limitado $[\underline{\gamma}, \overline{\gamma}] = \Gamma$.

Condicionando os parâmetros da equação (7) em relação aos valores de γ , obtém-se os estimadores de mínimos quadrados condicionados, $\hat{\theta}(\gamma)$ e $\hat{\delta}_n(\gamma)$, através da regressão de Y em $X_\gamma^* = [X \ X_\gamma]$. Assim, $S_n(\theta, \delta, \gamma)$ pode ser escrita na forma concentrada:

$$S_n(\gamma) = S_n(\hat{\theta}(\gamma), \hat{\delta}(\gamma), \gamma) = Y'Y - Y'X_\gamma^* (X_\gamma^{*'} X_\gamma^*)^{-1} X_\gamma^{*'} Y \tag{8}$$

Para encontrar o valor de $\hat{\gamma}$ que minimiza a equação (8) deve-se realizar uma varredura sobre os valores de γ ; i.e. sobre Γ , tal que

$$\hat{\gamma} = \underset{\gamma \in \Gamma_n}{\operatorname{argmin}} S_n(\gamma) \tag{9}$$

Onde $\Gamma_n = [\underline{\gamma}, \overline{\gamma}] \cap \{q_1, \dots, q_n\}$, e $\{q_1, \dots, q_n\}$ é a amostra de variáveis candidatas à variável *threshold*. Após a determinação de $\hat{\gamma}$, as estimativas de MQO de θ e γ , são dadas por e $\hat{\delta} = \hat{\delta}(\hat{\gamma})$.

Em geral, a estimação do intervalo de confiança no modelo *threshold* é encontrada através da inversão da estatística de Wald ou da estatística t . No entanto, como no modelo em questão o parâmetro γ não é identificado, a estatística de Wald tem suas propriedades de pequenas amostras prejudicadas². A estratégia utilizada por Hansen é baseada na estatística de verossimilhança $LR_n(\gamma)$.

Para elaborar regiões de confiança baseado em $LR_n(\gamma)$, define-se C como o nível de intervalo de confiança assintótico ($C = 0,95$), $c = c_\xi(C)$ como o valor

²Mais informações ver Dufour (1997).

crítico do intervalo $\hat{\Gamma} = \{\gamma : LR_n(\gamma) \leq c\}$. Um método gráfico para encontrar a região de $\hat{\Gamma}$, sob a hipótese de homocedasticidade, é grafar a taxa de verossimilhança $LR_n(\gamma)$ contra γ e traçar uma linha horizontal c . Equivalentemente, pode-se grafar a soma dos resíduos dos erros quadrados, $S_n(\gamma)$, contra γ e traçar uma reta em $S_n(\hat{\gamma}) + \hat{\sigma}^2 c$.

Observe-se que se a hipótese de homocedasticidade é rejeitada, a estatística de verossimilhança pode ser redefinida como:

$$LR_n^*(\gamma) = \frac{LR_n(\gamma)}{\hat{\eta}^2} = \frac{S_n(\gamma) - S_n(\hat{\gamma})}{\hat{\sigma}^2 \hat{\eta}^2} \quad (10)$$

5 Dados utilizados e a equação de convergência

Um primeiro aspecto a se considerar diz respeito a quais unidades de observação serão tomadas como referência espacial na análise tanto descritiva, como especialmente na definição do modelo econométrico.

Conforme sugerem alguns autores, a adoção do conceito de Área Mínima Comparável – AMC, seria aquele recorte espacial que permitiria uma análise mais consistente ao longo do tempo da mudança do espaço geográfico, envolvendo a divisão administrativa em nível municipal (Andersen 2002).

De fato, ao longo dos últimos trinta anos, muitos foram os municípios criados entre os estados que compõem a Amazônia Legal brasileira, com diferenças muito grandes entre os municípios.

No entanto, entre a metade da década de 1990 e 2006, o número de municípios criados não foi grande, de forma que a comparação espacial em nível municipal neste período não causa problemas significativos. Ademais, por deficiências nos dados alguns municípios criados no período foram omitidos da amostra.

Desta forma, os dados utilizados são *cross-sections* de 553³ municípios correspondentes à Amazônia Legal: Rondônia, Amazonas, Acre, Amapá, Roraima, Pará, Maranhão, Mato Grosso e Tocantins, de acordo com a definição do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) entre os anos de 2000 e 2004.

A escolha das variáveis explicativas ficou refém da disponibilidade dos dados para o período. Todavia, foram considerados como os grandes vetores do desmatamento as variáveis que caracterizam a ocupação do solo – mais especificamente variáveis que caracterizam o setor agropecuário – uma vez que, como apontado pela literatura, outros fatores como infra-estrutura, por exemplo, são facilitadores que aumentam a intensidade dos fatores causais primários; no caso: pecuária, cultura permanente e cultura temporária.

Portanto, com base na literatura especializada, foram utilizadas as seguintes variáveis que tiveram como principais fontes o IPEA⁴ (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) e o IBGE⁵ (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

³Foram excluídos 210 municípios da amostra total de 763 municípios da Amazônia Legal. O critério de exclusão desses municípios se deu pela não existência de alguns dados para parte da amostra e por parte destes que apresentarem zero hectares de desmatamento no período inicial da amostra, o que impossibilita a aplicação do efeito threshold.

⁴Mais informações ver <http://www.ipea.gov.br>.

⁵Mais informações ver <http://www.ibge.gov.br>.

- a) Desmatamento = Total de km² desmatado por município *i* ;
- b) Rebanho Bovino = Total do rebanho bovino do município *i* ;
- c) Cultura Permanente = Somatório do total da utilização das terras em lavouras permanentes do município *i* ;
- d) Cultura Temporária = Somatório do total da utilização das terras em lavouras temporárias do município *i* ;
- e) Área Ocupada = Total da área ocupada do município *i* com a agropecuária;
- f) PIB *per capita* = Produto Interno Bruto (PIB) do município *i* dividido pela população total do município *i* Reais de 2000 deflacionados pelo deflator implícito do PIB nacional;

Desta forma, após o modelo *threshold* identificar a existência de múltiplos regimes, foram estimadas regressões por MQO para cada grupo com características socioeconômicas diferentes⁶. A equação estimada foi a seguinte:

$$\begin{aligned} \ln(Desm)_{i,2004} - \ln(Desm)_{i,2000} = & \beta_0 + \beta_1 \ln(Desm)_{i,2000} \\ & + \beta_2 \ln(PIB)_{i,2004} + \beta_3 \ln(RBOV)_{i,2004} \\ & + \beta_4 \ln(CULT PERM)_{i,2004} \\ & + \beta_5 \ln(CULT TEMP)_{i,2004} \\ & + \beta_6 \ln(AREA OCUP)_{i,2004} + \varepsilon_i \quad (11) \end{aligned}$$

Onde $\varepsilon \sim N(0, \Omega_\varepsilon)$ é o erro da regressão. A evidência de convergência é associada com o sinal negativo para β_1 .

6 Resultados empíricos

6.1 Análise do modelo threshold

Os resultados para Amazônia Legal estão dispostos na Tabela 1 abaixo, a qual sumariza os resultados encontrados para a divisão da amostra entre os nós⁷ de decisão. Os resultados revelam a existência de três nós de decisão e de quatro nós terminais. Os nós de decisão correspondem ao nó inicial, um na primeira interação (2.2) e um na segunda interação (3.2).

De acordo com a Figura 1, pode-se observar a existência de três nós de decisão, bem como quatro nós terminais. Isto implica na existência de quatro clubes de convergência de desmatamento na Amazônia Legal.

O clube 2.1, correspondente ao clube com menor área desmatada, abrange os 40 municípios com área desmatada inferior a 45,369 km². O nó 3.1 corresponde ao clube de convergência intermediário, com 93 municípios, que

⁶Foram empregadas estimações com correções para heterocedasticidade. Mais informações ver Hansen (2000).

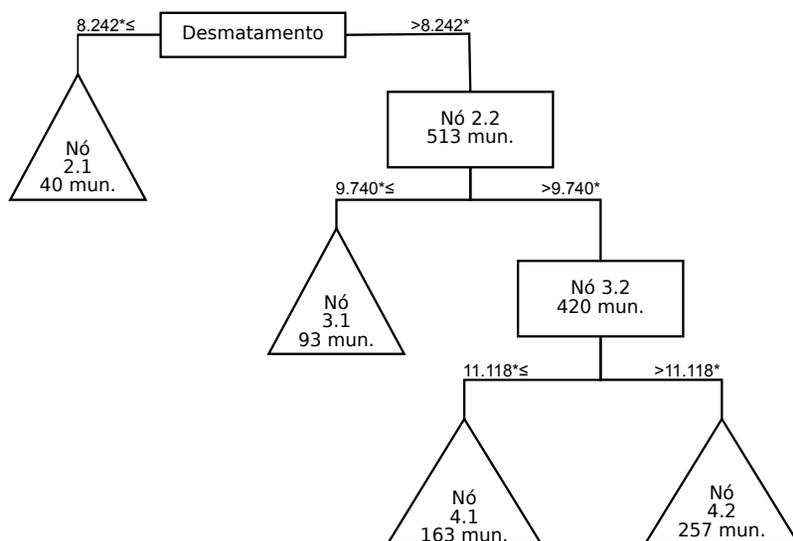
⁷O termo "nó" corresponde à amostra ou sub-amostra onde será testado o efeito threshold. Se o efeito threshold for significativo, indicando que haverá nova divisão da amostra, o nó corresponde a um nó de decisão; se não for significativo, indicando que não haverá nova divisão amostral, o nó corresponde a um nó final ou clube de convergência.

Tabela 1: Decisão de Divisão da Amostra para Amazônia Legal

Nó de Decisão	Teste LM desm2000	Decisão de Divisão	
		Valor <i>threshold</i>	Intervalo de Confiança
Desmatamento	27,97	8,24	[8,24; 8,36]
2.2	25,64	9,74	[9,43; 11,23]
3.2	23,23	11,12	[10,72; 11,29]

Nível de significância utilizado foi de 95% e H0: não há divisão da amostra.

Fonte: Elaboração dos autores.



Fonte: Elaboração do autores.

Figura 1: Diagramação de decisão do Efeito *threshold* para a Amazônia legal

possuem a área desmatada entre 45,369 e 169,83 km². O outro clube intermediário 4.1 com 163 municípios corresponde ao clube com área desmatada entre 169,83 e 673,73 km². Já o nó terminal 4.2, corresponde ao clube de convergência com maior área de desmatamento, compreendendo aos 257 municípios que possuem a área desmatada superior a 673,73⁸ km².

Na Tabela 2 abaixo estão sumarizadas as estatísticas descritivas de algumas variáveis para os municípios da Amazônia Legal considerados no estudo, de acordo com a classificação dos clubes de convergência.

6.2 Análise intra-clubes de convergência do desmatamento

Na mesma é possível verificar que o clube com maior área desmatada (4.2) apresentou uma taxa de crescimento média da área desmatada, no período analisado, de 19%, enquanto o clube com menor área desmatada (2.1) apre-

⁸Esse valor é derivado da aplicação do antilog no valor *threshold* correspondente na figura 1.

Tabela 2: Estatísticas Descritivas dos Clubes de Convergência do Desmatamento

		Clube 2.1	Clube 3.1	Clube 4.1	Clube 4.2
Taxa de Crescimento do Desmatamento entre 2000 e 2004	Mínimo	0	0	0	0
	Média	0,75	0,35	0,15	0,19
	Máximo	3,93	2,26	2,17	1,09
	Desvio-Padrão	0,984	0,4897	0,263	0,1962
Total do Desmatamento no ano de 2000 (Km ²)	Mínimo	1	48,0	170,0	674,0
	Média	45,0	169,0	670,0	6711,0
	Máximo	23,46	106,279	399,84	1 605,35
	Desvio-Padrão	1 283,96	3 588,14	14 856,9	100 946
Total de Terras com Cultura Permanente no ano de 2004	Mínimo	0	0	1	1
	Média	143,87	360,19	546,2	1 788,5
	Máximo	1 856	8 400	11 153	28 462
	Desvio-Padrão	318,891	1 005,36	1 236,98	3 386,76
Total de Terras com Cultura Temporária no ano de 2004	Mínimo	0	0	30	40
	Média	1 829,27	2 955,28	2 515,39	3 090,79
	Máximo	35 206	87 214	67 781	40 208
	Desvio-Padrão	5 778,09	11 253,2	8 033,95	5 416,8
Total do Rebanho Bovino no ano de 2004	Mínimo	0	188	190	886
	Média	47 121,7	41 060,7	42 878,7	200 681
	Máximo	390 597	417 280	496 594	1 527 017
	Desvio-Padrão	76 037,6	75 334	51 325,8	182 571

Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 2: Estatísticas Descritivas dos Clubes de Convergência do Desmatamento (continuação)

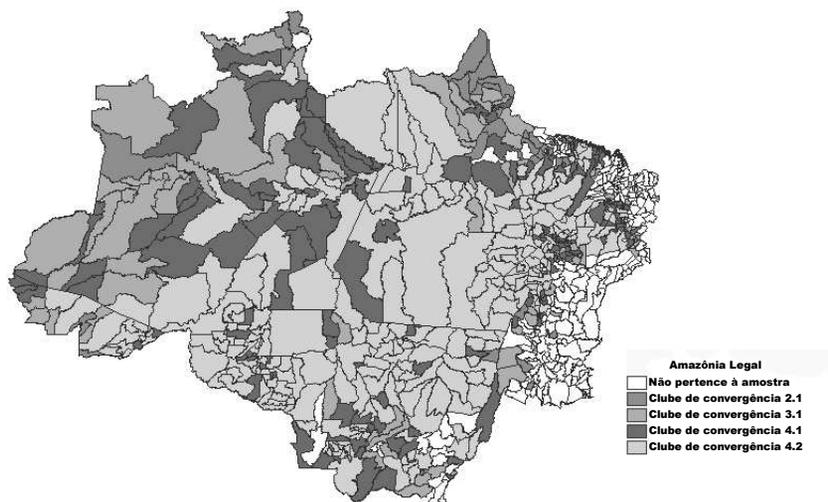
	Clube 2.1	Clube 3.1	Clube 4.1	Clube 4.2
PIB <i>per capita</i> no ano de 2004	Mínimo	1 120,18	1 193,26	1 103,09
	Média	5 683,45	4 683,37	4 304,34
	Máximo	77 685,8	58 516,7	100 442
	Desvio-Padrão	11 984,1	7 857,02	8 428,51
Total de Hectares em Área Ocupada com Agropecuária em 2004	Mínimo	89	1 186	831
	Média	62 203	59 217,4	54 411
	Máximo	473 864	523 297	501 152
	Desvio-Padrão	98 232,7	113 902	71 433,1
Total de Hectares com Arroz em 2004	Mínimo	0	1	1
	Média	2 739,66	1 449,51	1 247,54
	Máximo	35 532	24 500	13 300
	Desvio-Padrão	5 863,92	3 791,63	1 967,53
Total de Hectares com Milho em 2004	Mínimo	1	1	1
	Média	2 253,56	2 241,99	2 029,48
	Máximo	50 500	85 100	100 290
	Desvio-Padrão	7 910,4	9 933,89	8 524,16
Total de Hectares com Soja em 2004	Mínimo	1	1	121
	Média	8 115,98	11 150,9	51 94,63
	Máximo	197 951	347 150	290 410
	Desvio-Padrão	32 135	54 300,7	31 840,9

Fonte: Elaboração dos autores.

Tabela 3: 3 - Análise de Regressão de MQO para os Clubes da Amazônia Legal

Municípios	Amazônia Legal 553	Clube 2.1 40	Clube 3.1 93	Clube 4.1 163	Clube 4.2 257
Constante	0,82* (0,28)	2,97* (1,51)	2,01* (1,01)	-0,81* (0,29)	-0,02 (0,02)
ln (Desmatamento) 2000	-0,09* (0,02)	0,25* (0,14)	-0,14 (0,13)	0,05* (0,02)	-0,03 (0,03)
ln (PIB)	0,001 (0,03)	0,56* (0,27)	0,13* (0,06)	0,05* (0,02)	0,02** (0,01)
ln (Rebanho Bovino)	0,08* (0,02)	-0,55 (0,37)	0,04* (0,002)	0,02* (0,01)	0,09* (0,03)
ln (Cultura Permanente)	0,01* (0,006)	-0,03 (0,07)	0,01 (0,02)	0,009* (0,004)	0,03* (0,005)
ln (Cultura Temporaria)	0,023* (0,001)	0,08 (0,07)	0,07** (0,04)	0,03* (0,01)	0,01* (0,008)
ln (Área Ocupada)	0,09* (0,04)	0,54 (0,41)	0,01 (0,06)	0,09* (0,04)	0,13* (0,04)
R2 ajustado	0,21	0,27	0,38	0,22	0,20
Variância do Resíduo	0,14	0,74	0,25	0,16	0,10

* significantes a 5%; ** significantes a 10%; Valores entre parênteses são os desvios-padrões.
Fonte: Elaboração dos autores.



Fonte: elaboração dos autores

Figura 2: Dispersão Espacial dos Municípios da Amazônia Legal de acordo com a Classificação dos Clubes de Convergência

sentou uma taxa média de 75%, bem como é possível observar, também, que o total de km² médios desmatados no ano de 2000 nos municípios do clube 4.2 foi de 6.711 km², enquanto que no clube 2.1 foi de apenas 45 km².

Portanto, os dados abaixo permitem concluir que existe uma disparidade considerável entre os municípios integrantes dos diferentes clubes de convergência, o que reforça a formação dos referidos grupos.

Ao se considerar o conjunto dos 553 municípios da Amazônia Legal analisados neste estudo, verifica-se pela Tabela 3, que há evidências empíricas favoráveis a um processo de convergência do desmatamento e que o rebanho bovino, as culturas permanentes e temporárias e a área ocupada são variáveis determinantes para o crescimento do desmatamento.

Já os resultados intra-clubes, também apresentados na tabela 3, mostram que o clube com menor área desmatada (2.1) e o clube intermediário (4.1) apresentam indícios de um processo de divergência do desmatamento observado nos seus municípios. Estes resultados podem significar que não há um processo de reversão para a média por parte da área desmatada nestes municípios, ou ainda, que os municípios destes clubes podem estar em processo de migração em direção aos pólos, bem como podem estar formando novos clubes.

Para o clube de convergência com menor área desmatada (2.1), apenas a variável PIB, variável que foi utilizada como *proxy* para o grau de desenvolvimento econômico do município, mostrou-se importante para explicar o crescimento do desmatamento nestes municípios. As demais variáveis foram insignificantes. Esse resultado indica que a atividade econômica deste clube é a única responsável pelo processo de desmatamento; e que esta, por sua vez, deve estar atrelada ao processo de subsistência das populações residentes; a qual, em linhas gerais, não é intensa em termos de desmatamento.

No clube intermediário (3.1), os resultados indicam que a pecuária e as culturas temporárias, bem como a atividade econômica do município (PIB) são importantes para explicar o processo de desmatamento deste clube.

Já com relação aos clubes com maiores áreas desmatadas (4.1) e (4.2), respectivamente, observa-se que todas as variáveis incluídas na equação são importantes para explicar o processo de desmatamento dentro destes clubes, uma vez que as atividades econômicas destes municípios estão diretamente ligadas à pecuária e à agricultura, seja ela temporária ou permanente.

Em termos espaciais, pode-se observar na Figura 2 a dispersão dos municípios no espaço geográfico da Amazônia Legal em termos dos clubes de convergência. Na mesma é possível observar que os municípios integrantes do clube de convergência com maior área desmatada (clube 4.2) situam-se, principalmente, nos estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia.

7 Conclusão

Este trabalho teve como objetivo investigar a existência de um processo de convergência do desmatamento entre os municípios da Amazônia Legal no período de 2000 a 2004, levando em consideração a possibilidade da existência de grupos de municípios com características diferentes.

Os resultados corroboraram a hipótese de que a dinâmica econômica que é imposta pelas forças que promovem o crescimento do desmatamento na Amazônia Legal leva à formação de diferentes grupos de municípios com características socioeconômicas distintas. Detectou-se, portanto, a existência de quatro clubes de convergência, considerando o conjunto total dos 553 municípios analisados neste estudo. Não obstante, verifica-se um possível processo de divergência nos clubes (2.1) e (4.1).

Por outro lado, os resultados intra-clubes mostraram que o total de rebanho bovino, o PIB *per capita* e as culturas temporárias e permanentes são os principais fatores que explicam o desmatamento, principalmente nos clubes onde o desmatamento é mais intenso.

Assim, a importância dos resultados obtidos está, antes de tudo, em mostrar que as forças que impulsionam o desmatamento, e sua magnitude, variam dependendo da escala já alcançada por esse desmatamento – no intervalo que define cada grupo de convergência – realçando a heterogeneidade dessas forças no interior dos municípios dos nove estados que compõem a Amazônia Legal.

Os dados da Tabela 2 mostram que os municípios do clube 2.1 apresentaram a maior taxa de desmatamento média dentro do período analisado, a segunda maior média de renda *per capita* e de rebanho bovino e a menor área desmatada no início do período em termos de km². Analisando estas estatísticas em conjunto com os resultados da regressão para este clube na Tabela 3, pode-se inferir, mesmo em caráter exploratório, que o principal fator de desmatamento neste clube deve-se a um processo de crescimento econômico baseado principalmente na pecuária, o qual gera um processo de crescimento desordenado das cidades e da expansão da fronteira agrícola.

Aliás, essa é uma possível característica observada em todos os municípios, uma vez que a variável que representa a atividade econômica foi significativa em todos os clubes. Entretanto, nos resultados para os municípios do clube 3.1, as variáveis de rebanho bovino e cultura temporária também foram significativas e nos clubes 4.1 e 4.2, além dessas variáveis, mostram-se significativas a cultura permanente e a área ocupada. Os municípios do clube 4.1 são os que

em média apresentaram maior rebanho bovino e cultura permanente, seguido pelos municípios integrantes do clube 4.2.

Esses resultados podem indicar que os municípios do clube 4.1 e 4.2, apresentam uma exploração da atividade agropecuária em processo de consolidação em relação aos municípios dos clubes 2.1 e 3.1, os quais caracterizam-se pela rápida expansão do processo de desmatamento.

Como exemplo de políticas públicas, pode-se destacar a formulação de planos de zoneamento tanto urbanos como rural, principalmente para os clubes 2.1 e 3.1, e o desenvolvimento de produtos florestais que agreguem maior valor adicionado, como a criação de pólos moveleiros, de cosméticos e farmacêuticos, turismo ecológico, entre outros. Talvez a maior maturidade da atividade econômica observada nos municípios dos clubes 4.1 e 4.2 em relação aos dos clubes 2.1 e 3.1, gerem uma maior condição de viabilidade econômica desses projetos.

Entretanto, em virtude das limitações desse estudo, essas proposições devem ser analisadas de forma mais profunda. Por enquanto, os resultados encontrados neste trabalho, indicam que não existe um processo significativo de estabilização ou de reversão do desmatamento nos municípios no período analisado. Deve-se considerar também que a possível formação de clubes de convergência com municípios nos quais o processo de desmatamento segue características diferenciadas, fortalece a idéia de que as políticas públicas que possam ter efeito na contenção do desmatamento também precisam ser diferenciadas de acordo com as dinâmicas das atividades produtivas predominantes em cada caso.

Referências Bibliográficas

- Alencar, A., Nepstad, D., McGrath, D., Moutinho, P., Diaz, P. P. M. D. C. V. & Soares-Filho, B. (2004), Desmatamento na amazônia: indo além da “emergência crônica”, Technical report, Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia.
- Andersen, L. E. (2002), The dynamics of deforestation and economic growth in the brasilian amazon, Technical report, Cambridge University Press.
- Arima, E., Barreto, P. & Brito, M. (2005), Pecuária na amazônia: tendências e implicações para a conservação ambiental, Technical report, Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia.
- Becker, B. K. (1990), *Amazônia, Ática*.
- Becker, B. K. (2006), *Amazônia: geopolítica na virada do III milênio*, Garamond.
- Brandão, A. S., Rezende, G. C. & Marques, R. W. C. (2005), Crescimento agrícola no período 1999-2004, explosão da área plantada com soja e meio ambiente no Brasil, Technical report, IPEA.
- Brock, W. A. & Taylor, M. S. (2004), The green solow model, Technical report, Social Sciences and Research Institute University of Wisconsin.
- Carvalho, G., Barros, A. C., Moutinho, P. & Nepstad, D. (2001), ‘Sensitive development could protect amazonia instead of destroying it’, *Nature* 409, 131.

- Dufour, J. M. (1997), 'Some impossibility theorems in econometrics with applications to structural and dynamic models', *Econometrica* **65**, 1365–1388.
- Fearnside, P. (2007), 'Amazon forest maintenance as a source of environmental services', *Annals of the Brazilian Academy of Sciences* **80**, 101–114.
- Fearnside, P. M. (2006), 'Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle', *Acta Amazônica* **36**, 395–400.
- Galor, O. (1997), 'Convergence? inferences from theoretical models', *Economic Journal* **106**, 1056–1069.
- Hansen, B. E. (2000), 'Sample splitting and threshold estimation', *Econometrica* **68**, 575–603.
- Hecht, S., Norgaard, R. B. & Posto, G. (1985), 'The economics of cattle ranching in eastern Amazonia.', *Interciencia* **13**, 233–240.
- Mahan, G. P. (1979), The demand for residential telephone service., PhD thesis, Michigan State University.
- Margulis, S. (2003), Causas do desmatamento da Amazônia brasileira, Technical report, Banco Mundial.
- Mattos, M. M. & Uhl, C. (1994), 'Economic and ecological perspectives on ranching in the eastern Amazon.', *World Development* **22**, 145–158.
- Nepstad, D., Capobianco, J. P., Barros, A. C., Carvalho, G., Moutinho, P., Lopes, U. & Fefevre, P. (2000), *Avança Brasil: os custos ambientais para a Amazônia.*, Belém:Alves.
- Oliveira, C. A. (2005), Criminalidade e o tamanho das cidades brasileiras: Um enfoque da economia do crime, in 'XXXIII Encontro Nacional de Economia'.
- Pikett, M. G., Veiga, J. B., Tourrand, J. F., Alves, A. M., Pocard-Chapuis, R., Thales, M. C. & Houston, N. (2004), Por que a pecuária está avançando na Amazônia oriental?, in 'Amazônia: cenas e cenários', Universidade de Brasília.
- Puty, C., Almeida, O. T. & Rivero, S. L. M. (2007), 'A produção mecanizada de grãos e seu impacto no desmatamento amazônico', *Ciência Hoje* **40**, 44–48.
- Reis, E. & Margullis, S. (1991), Options for slowing Amazon jungle clearing., in R. Dornbusch & J. Poterba, eds, 'Economic Policy Responses to Global Warming.', Cambridge, MA., MIT Press.
- Rivas, A. A. F., Mota, J. A. & Machado, J. (2008), Impacto virtuoso do pólo industrial de Manaus sobre a proteção da floresta amazônica: discurso ou fato?, Technical report, Instituto Piatam.
- Rodrigues, R. L. V. (2004), Leonardo Vianna. Causas do Desmatamento da Amazônia brasileira, PhD thesis, COPPE/UFRJ.
- Schmink, M. & Wood, C. (1992), Contested frontiers in Amazonia, Technical report, Columbia University Press.
- Young, C. E. F. (1998), 'Public policies and deforestation in the Brazilian Amazon.', *Planejamento e Políticas Públicas*.