



## Análise de regressão segmentada da taxa de desmatamento da Amazônia Legal no período de 2000 a 2016

Vanessa Martínez Jiménez<sup>1</sup>, Camila Feyh Saturnino<sup>1</sup> e Robson Marcelo Rossi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Discentes, DES-UEM. e-mail: vanessamartinezjimenez95@gmail.com; camilafeyh@gmail.com

<sup>2</sup>Docente, DES-UEM. e-mail: rmrossi@uem.br

### RESUMO

O objetivo deste estudo foi verificar a existência de tendência linear por meio da regressão segmentada e determinar o ponto em que ocorre(m) a(s) possível(is) mudança(s) em dados de taxa de desmatamento anual na Amazônia Legal, Brasil no período de 2000 a 2016. Por meio do programa *JoinPoint* os resultados evidenciam uma relação entre taxa de desmatamento com alterações no código florestal brasileiro. Foi possível verificar dois pontos de mudança significativos nos anos 2004 e 2012. Assim, observou-se um decréscimo após o ano de 2004, devido ao aumento na fiscalização, entretanto após 2012, ano em que foi observada a menor taxa de desmatamento, houve um acréscimo na taxa devido a novas mudanças no código florestal do país. A variação no decorrer do período foi interpretada por meio da Variação Percentual Anual, onde teve-se a porcentagem do acréscimo ou decréscimo nos períodos em que foram detectadas as mudanças. Em síntese, houve um acréscimo de 8,47% no período entre 2000 e 2004, decréscimo de aproximadamente 19% entre 2004 e 2012 e novamente um acréscimo de 12,25% no período de 2012 e 2016.

**Palavras chave:** *JoinPoint*, ponto de mudança, tendência.

## 1 INTRODUÇÃO

O desmatamento é um problema global que coloca em risco os recursos naturais, o meio ambiente e o equilíbrio ecológico do planeta. O Brasil é o segundo país com maior cobertura vegetal do mundo, perdendo apenas para a Rússia. Dados da ONU estimam que quase sete milhões de hectares sejam desmatados por ano, existindo diversos fatores para esse crescimento no desmatamento (PENA, 2015).

Devido ao grande impacto ambiental a partir de 2002 o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), começou a divulgar os dados da taxa de desmatamento e imagens de satélite das áreas, essas informações auxiliam o governo brasileiro a tomar decisões necessárias para redução do desmatamento (INPE, 2008).

A Amazônia Legal possui uma área de 5.217.423  $km^2$ , corresponde a 61% do território brasileiro, englobando os Estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do Maranhão (Figura 1). Por outra parte, também possui a Bacia Amazônica, a qual corresponde a um 20% do volume total de toda a água doce do planeta (OECD, 2014).



**Figura 1:** Estados que constituem a Amazônia Legal  
Fonte: Lucena *et al.* (2017)

O objetivo deste trabalho foi verificar os possíveis pontos de mudança dos dados de desmatamento na Amazônia Legal brasileira, bem como identificar as causas que originaram tais mudanças no período de 2000 a 2016.

## 2 METODOLOGIA

A variável do estudo foi a taxa de desmatamento observada ( $km^2/ano$ ) no decorrer dos anos de 2000 e 2016 na Amazônia Legal, Brasil. Os dados estudados foram obtidos no site do INPE ([www.inpe.br](http://www.inpe.br)), considerando unicamente a taxa em geral, isto é, a taxa que engloba todos os Estados.

Um Modelo de Regressão Segmentada (MRS) considera a composição de uma série de fases ou etapas lineares contínuas e usualmente descrevem as mudanças nas tendências dos dados. Dessa forma, são utilizados segmentos para unir os pontos chamados pontos de quebra ou *joinpoints* (KIM *et al.*, 2000). Estes podem ser definidos como pontos onde a inclinação da função linear se altera, podendo ser ou não conhecidos antes da análise.

Considerando  $n$  observações  $\{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\}$  onde  $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$  é a variável explicativa (independente) e  $y_i$  com  $i=1, \dots, n$  a variável resposta, o modelo pode ser escrito da seguinte forma:

$$E[y-x] = \beta_{10} + \beta_{11}x + \sum_{j=1}^k \delta_j(x - \tau_j)^+ \quad (1)$$

$$(x - \tau_j)^+ = \begin{cases} x - \tau_j, & x > \tau_j \\ 0, & \text{caso contrário,} \end{cases} \text{ e } \delta_j = \beta_{(j+1)1} + \beta_{j1}$$

onde  $\beta_j, \tau_j$  representam os coeficientes de regressão do modelo e o ponto de mudança, respectivamente; o segmento de dados  $j$ -ésimo corresponde-se com  $S_j$ , composto por  $n_j$  pontos observados, os quais são definidos como  $S_j = \{x_i : \tau_{j-1} < x_i < \tau_j\} = \{x_{i_{j-1}+1}, \dots, x_{i_j}\}$ ,  $j = 1, 2, \dots, k+1$  e  $\tau_{k+1} = \text{máx}(x)$ ,  $\tau_0 = \text{mín}(x)$ ,  $i_{k+1} = n$ ,  $i_0 = 0$ . O número de parâmetros estimados é  $2k+1$  (YU, B. *et al.*, 2007).

No MRS, um dos elementos mais relevantes, para os casos onde a variável explicativa é o tempo ou ano, é a Variação Percentual Anual (VPA) ou do inglês *Annual Percent Change* (APC) que caracteriza as tendências das taxas ao longo do tempo. As taxas que mudam um porcentagem constante por unidade de medida, mudam de forma lineal numa escala  $\log$ . Por isso, para a estimação do VPA para uma série de dados, é utilizado o seguinte modelo de regressão:

$$\log(R_y) = b_0 + b_1y \quad (2)$$

onde  $\log(R_y)$  é o logaritmo natural da taxa na unidade de medida  $y$ , dessa forma, o VPA do  $y$  será:

$$y + 1 + \left[ \frac{R_{y=1} - Ry}{Ry} \right] \times (100) = \frac{[e^{b_0+b_1(y+1)} - e^{b_0+b_1(y)}]}{e^{b_0+b_1(y)}} = (e^{b_1} - 1) \times 100 \quad (3)$$

O MRS utiliza critérios estatísticos para determinar quando e com que frequência a VPA é alterada. Por conseguinte, encontrar o modelo com melhor ajuste permite determinar quanto tempo a VPA mantém-se constante e quando este muda (NCI, 2017).

Para a análise de tendência via MRS dos dados de desmatamento, foi utilizado o programa de acesso livre *JoinPoint Regression*, versão 3.3.1, 2013, (Statistical Research and Applications Branch, National Cancer Institute, Bethesda, Estados Unidos. <http://srab.cancer.gov/joinpoint>). O programa estima a Variação Percentual Anual (VPA) de uma regressão linear segmentada, verifica tendências e identifica os pontos de mudança (Kim *et al.*, 2000).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 apresenta os resultados das análises *JoinPoint* estimativas e significâncias dos parâmetros do modelo final ajustado apresentado em (1).

**Tabela 1:** Coeficientes de regressão segmentada estimados por meio do *Joinpoint* para a taxa de desmatamento da Amazônia Legal.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	<i>t</i>	valor- <i>p</i>
$\beta_0$	-152,84	112,09	-1,36	0,2058
$\beta_{11}$	0,08	0,06	1,45	0,1804
$\beta_{12} - \beta_{11}$	-0,29	0,06	-4,79	0,0001*
$\beta_{13} - \beta_{12}$	0,33	0,06	5,36	0,0005*

**Tabela 2:** Variação Percentual Anual para cada segmento da regressão segmentada

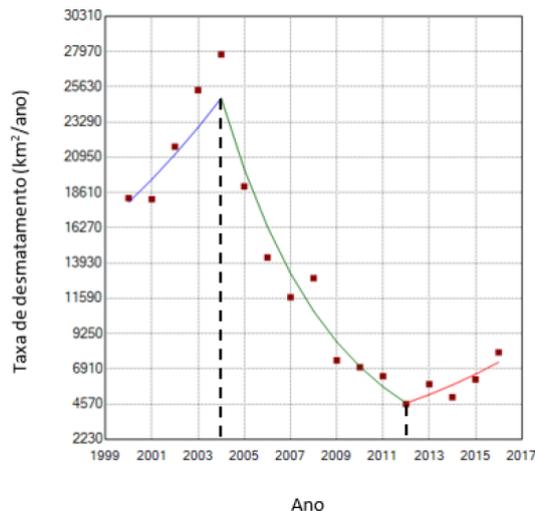
Ano	VPA
2000 - 2004	8,47
2004 - 2012	-18,96
2012 - 2016	12,25

Foram verificados dois pontos de mudança significativos nos anos 2004 e 2012 (Tabela 1), com tendências decrescente ( $p = 0,0001$ ) e crescente ( $p = 0,0005$ ), respectivamente. O decréscimo no ano de 2004 se dá por conta de um plano interministerial, onde aumentou-se o número de fiscalização, multas, monitoramento e o aumento na área de proteção. Com esse plano houve uma redução de 76,9% no desmatamento (IPEA, 2012).

A variação percentual anual (VPA) é utilizada para descrever a relação entre o ano anterior e o próximo ano. Verifica-se que o período dos anos de 2000 a 2004 houve um acréscimo de 8,47 nessa variação. Enquanto no período de 2004 a 2012 houve um decréscimo dessa variação de 18,96. E novamente ocorre um acréscimo de 12,25 no período de 2012 a 2016 (Tabela 2, Figura 2).

O INPE iniciou as medições na Amazônia Legal em 1988 e, apesar disso, somente no final do ano de 2012 foram aprovadas mudanças no Código Florestal brasileiro. Após, houve um aumento na taxa de desmatamento de 74,8%. Um dos principais pontos do novo código foi a anistia para pessoas que desmataram até 2008, o que passa uma impressão de impunidade ou de que desmatar compensa. Além da anistia houve outro fator, o desmatamento especulativo, isto é grandes áreas desmatadas visando algum benefício futuro com aquele terreno. Segundo o Ministério do Meio Ambiente a alta se deu por uma instabilidade política e a crise econômica, que gerou a sensação de impunidade (SOUZA, 2014).

A falta de aplicação de multas ou a impunidade está diretamente ligada ao crescimento no desmatamento. Existe uma confiança de que o desmatamento reduza novamente no ano de 2017 devido a uma injeção de R\$ 56 milhões no Instituto Brasileiro de Meio Ambiente para auxiliar a fiscalização (FOLHA, 2016).



**Figura 2:** Regressão segmentada ajustada para a taxa de desmatamento da Amazônia Legal.

## 4 CONCLUSÃO

As mudanças no Código Florestal brasileiro e como se aplica a fiscalização estão diretamente associados à variação das taxas de desmatamento da Amazônia Legal.

## Referências

- [1] FOLHA DE SÃO PAULO, 2016 - Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/ambiente/2016/12/1840178-novo-codigo-florestal-contribuiu-para-aumento-no-desmatamento.shtml>>. Acesso em 16 julho 2017
- [2] INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Monitoramento da Cobertura Florestal da Amazônia por Satélites. 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/04.28.13.43>>. Acesso em: 10 julho 2017.
- [3] INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA), 2012. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/portal>>. Acesso em: 12 julho 2017.
- [4] NCI - JOINTPOINT REGRESSION PROGRAM: Statistical Methodology and Applications Branch and Data Modelling Branch, Surveillance Research Program National Cancer Institute, 2017.
- [5] KIM, H. J; FAY, M. P., FEUER, E. J.; MIDTHUNE, D. N. Permutation tests for join-point regression with applications to cancer rates. *Statistics in Medicine*. v.19, p.335-351, 2000.
- [6] LUCENA, L. R.; SANTOS, C. R.; STOSIC, T.; FILHO, M. C. Análise de lacunaridade de distribuição espacial de queimadas na Amazônia Legal. *Revista Brasileira de Biometria*. Lavras, v.35, n.2, p.283-297, 2017.
- [7] OECO, 2014. Disponível em:<<http://www.oeco.org.br/Amazonialegal>>. Acesso em 16 julho 2017.
- [8] PENA, R. F. A. Desmatamento, Brasil Escola, 2015. Disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/o-desmatamento.htm>>. Acesso em 15 de julho de 2017.
- [9] SOUZA, O. B. Governo regulamenta anistia a multas por desmatamento ilegal prevista em nova lei florestal, Instituto Socioambiental. 2014. Disponível em: <<http://socioambiental.org/pt-br/noticias-socioambientais/governo-regulamenta-anistia-a-multas-por-desmatamento-ilegal-prevista-em-nova-lei-florestal>>. Acesso em: 14 de julho de 2017.
- [10] YU, B.; BARRET, M. J.; KIM, H.-J; FEUER, E. J. Estimating joinpoints in continuous time scale for multiple change-point models, *Computational Statistics and Data Analysis*, v.51, p.2420-2427, 2007.