

Avaliação de impacto do Plano BR-163 Sustentável sobre municípios em sua área de influência no Pará/Brasil

Janaína Jukes, Diego Freitas Rodrigues and Leticia Alves de Araújo

Resumo

Objetivo: Avaliar o impacto do Plano BR-163 Sustentável e identificar a presença de agrupamentos espaciais que expliquem a dinâmica territorial das microrregiões de influência da BR-163. Método: Realizou-se uma avaliação de impacto baseada no modelo Diferenças em Diferenças analisando anos anteriores e posteriores à sua criação. A estratégia empírica adotada baseou-se em: um modelo sem ajustes de pareamento; um com probabilidade inversa ponderada; e um com o pareamento de nearest neighbor. Resultados: Observou-se que a estimativa do efeito da política é positiva e significativa nos três modelos. No primeiro obteve-se o incremento de 1,234% na diferença de desmatamento pós política nos municípios da área de influência da rodovia; no segundo sobe para 1.426% e fica em 1.335% no pareamento de nearest neighbor. Identificou-se que houve desaceleração no avanço do desflorestamento, ponto positivo, porém, não é possível afirmar que este fato decorreu da implementação do plano ou por outras políticas e incentivos municipais e estaduais. Conclusão: A análise de associação espacial realizada evidenciou que as variáveis Desmatamento, Focos de Queimadas e Área de Pastagem podem ser discutidas a nível de agrupamentos espaciais, porém não apresentam tendências semelhantes para toda a área de influência da rodovia.

Abstract

Objective: Evaluate the impact of the Sustainable BR-163 Plan and identify the presence of spatial clusters that explain the territorial dynamics of the micro-regions of influence of the BR-163. Method: An impact assessment was carried out based on the Differences in Differences model, analyzing years before and after its creation. The empirical strategy adopted was based on: a model without matching adjustments; one with weighted inverse probability; and one with the nearest neighbor pairing. Results: It was observed that the estimate of the policy effect is positive and significant in the three models. In the first, there was an increase of 1.234% in the difference in post-policy deforestation in the municipalities in the area of influence of the highway; in the second it rises to 1.426% and stays at 1.335% in the nearest neighbor pairing. It was identified that there was a slowdown in the advance of deforestation, a positive point, however, it is not possible to state that this fact resulted from the implementation of the plan or by other municipal and state policies and incentives. Conclusion: The spatial association analysis carried out showed that the variables Deforestation, Burning Spots and Pasture Area can be discussed at the level of spatial groupings, but do not present similar trends for the entire area of influence of the highway.

Introdução

A infraestrutura viária afeta ecossistemas direta e indiretamente, pois sua presença cria bordas de habitats, contamina o ambiente circundante, causa milhões de mortes de animais anualmente e opera de maneira sinérgica em várias escalas,

causando tanto uma significativa perda e isolamento geral do habitat da vida selvagem, quanto a alteração da paisagem (Spellerberg, 2002).

Existe um grande dilema envolvendo estradas, pois da mesma forma que auxiliam na redução do isolamento dos habitantes das áreas rurais e melhoram a qualidade de vida da população em sua área de influência, geram alterações ambientais e sociais (Bonilla-Bedoya et al., 2018; Brandão Júnior et al., 2007).

Percebe-se o impacto do aumento da malha rodoviária na visualização de imagens de satélite, pois sua finalidade é facilitar a circulação de bens e serviços e acesso à floresta. Com isso, existem diversos impactos ocasionados pela implantação de rodovias como: atropelamento de fauna, efeito de borda,¹ alterações no comportamento animal, alterações no ambiente físico e químico, propagação de espécies exóticas e invasoras, exploração madeireira, degradação de corpos hídricos, redução e fragmentação de habitats (Lima-Ribeiro, 2008; Pfaff et al., 2003). Essa dinâmica de impactos na abertura de rodovias ocorreu precisamente na ocupação amazônica e não foi diferente em sua porção oriental, contemplando a área de influência direta e indireta da BR-163. Dada a importância do escoamento de

¹ Lima-Ribeiro (2008) analisa os efeitos de borda sobre a vegetação em fragmentos no cerrado. Segundo o autor, os efeitos de borda dividem-se em dois grupos: abióticos e biológicos diretos e indiretos. Abióticos envolvem mudanças nos fatores climáticos ambientais, em que as bordas apresentam maior exposição aos ventos, altas temperaturas, baixas umidades e alta radiação solar. Biológicos diretos envolvem mudanças na quantidade e na distribuição de espécies provocados pelos fatores abióticos nas proximidades das bordas. Efeitos biológicos indiretos envolvem mudanças na interação entre as espécies como predação, parasitismo, competição etc.

commodities agrícolas de Mato Grosso, optamos por contemplar em nossa análise as microrregiões de Altamira, São Felix do Xingu, Itaituba, Óbidos, Santarém e Almeirim, totalizando vinte e oito municípios da área de influência direta da BR-163 no trecho paraense da rodovia, já em processo de acelerada composição de efeito de borda, com taxas de desmatamento crescentes e que as insere dentro do chamado “arco do desmatamento.”²

A BR-163 pode ser considerada um empreendimento de alto interesse tanto do governo federal, quanto dos governos estaduais do Pará e Mato Grosso, pois é capaz de escoar a soja produzida em Mato Grosso ao porto de Santarém (PA), facilitando a dinamização econômica e ocupação territorial para a expansão das fronteiras agrícolas e aumento dos aglomerados urbanos ao longo de sua área de influência direta e indireta (Leão, 2017). As obras da rodovia iniciaram em setembro de 1970 (Leão, 2017), sendo oficialmente aberta em 1976 (Margarit, 2013), e a pavimentação finalizada em novembro de 2020, cinquenta anos após o início das obras.

Paralelamente à importância da BR-163 relacionada aos aspectos econômicos, tem-se um rastro de devastação ambiental, cultural e social em toda sua extensão,

² Cf. lista completa dos municípios (Ministério do Meio Ambiente, 2021).

pressionando Áreas Protegidas, sendo essa região palco de violentos conflitos socioambientais relacionados a disputa por territórios (Xingu+, [s. d.]). Essas áreas, ao mesmo tempo que se beneficiam da facilidade de deslocamento de uma rodovia, agora pavimentada, sofrem os impactos negativos causados pela BR-163, criando um cenário complexo e com grande possibilidade de conflitos por terra.

O Plano de sustentabilidade da BR-163 foi elaborado pensando no potencial econômico e na diversidade social, biológica e riquezas naturais, cujas populações tradicionais, urbanas, agricultores familiares e povos indígenas da região são dependentes, conforme aponta o próprio plano. Os objetivos listados no plano são: Promover a gestão democrática e sustentável do território; viabilizar a produção sustentável com inovação tecnológica; implementar e manter obras de infraestrutura nos setores de transportes, energia, comunicações e saneamento básico; e fortalecer a inclusão social e cidadania. Cada um dos objetivos lista metas específicas (Brasil, 2006).

A partir disso, como se dão os impactos socioambientais da BR-163? Este trabalho se baseia na hipótese de que a rodovia atua como um vetor de impactos nesses municípios de sua influência, formando agrupamentos espaciais a partir de características sociais, ambientais e econômicas, necessitando de políticas públicas

transversais que realizem um ordenamento territorial efetivo, mitigando esses impactos. Logo, o objetivo é o de avaliar o impacto do Plano BR-163 Sustentável e identificar a presença de agrupamentos espaciais que expliquem a dinâmica territorial das microrregiões de influência da BR-163.

O estudo foi realizado avaliando os anos de 2006 e 2007, sendo 2006 o ano de lançamento do Plano Amazônia Sustentável,³ observando-se uma amostra de 143 municípios, dos quais 28 receberam a política, e 115 não receberam. A avaliação foi realizada utilizando-se o modelo de Diferenças em Diferenças.

Contextualização

A BR-163 é um empreendimento lançado pela Política de Integração Nacional (PIN) instituída na década de 1970, com o intuito de conectar Amazônia com outras regiões do país. No relatório “Estudo de caso: a rodovia BR-163 e o desafio da sustentabilidade”, é destacado que a presença de comunidades tradicionais, fauna e flora presentes na região de influência da BR-163 não foram consideradas no processo de abertura da estrada, o que causou impactos socioambientais irreversíveis, que somente o licenciamento ambiental convencional, instrumento

³ Cf. plano de desenvolvimento sustentável para área de influência da BR-163 pode (Ministério da Integração Nacional et al., 2004).

obrigatório apenas a partir de 1981, não foi suficiente para mitigar os danos causados pela obra (Alencar, 2005).

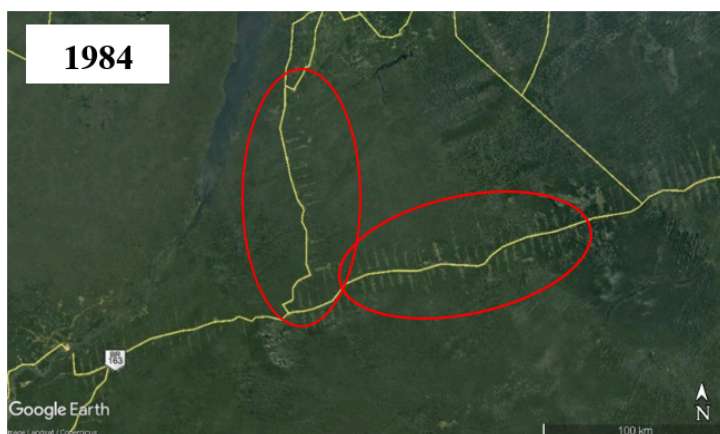
Com grande pressão mundial devido aos impactos o Plano BR-163 Sustentável, criou-se em 2006, incluso em ações estratégicas de desenvolvimento da Região Norte, o Plano Amazônia Sustentável (Brasil, 2006).

Nos anos 70, foram implantadas três importantes diretrizes ligadas ao PIN⁴ para a integração amazônica: abertura da rodovia Transamazônica e da rodovia Cuiabá-Santarém; implantação de um programa de colonização em uma faixa de terra de 10km para cada lado dessas rodovias; injeção de 30% de recursos financeiros para aplicação nesse programa (Oliveira et al., 2019).

Comparando essa faixa de terra com as áreas de influência dispostas no Estudo de Impacto Ambiental da BR-163, essa área de 10km (para cada lado da rodovia) na qual historicamente foi incentivada a ocupação e o desflorestamento, foi considerada a Área de Influência Indireta da rodovia, e a Área de Influência Direta estipulada foi de dois quilômetros ao redor da rodovia, mostrando que o processo histórico de ocupação foi insuficientemente levado em consideração na estipulação da escolha do *buffer* de influência (Ecoplan Engenharia, 2002).

⁴ O Programa de Integração Nacional foi instituído pelo Decreto-Lei Nº1.106 de 16 de junho de 1970. É citado no art. 2º que a primeira etapa do programa é a construção imediata da BR-163 e da BR-230.

Após criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), foram criadas cinquenta e três (53) Unidades de Conservação na Amazônia, totalizando 124.307,15km² de áreas protegidas, sendo doze (12) no Amazonas, doze (12) no Pará, dez (10) no Mato Grosso, seis (6) em Roraima, cinco (5) no Acre, duas (2) no Maranhão, duas (2) em Roraima, uma (1) em Amazonas/Roraima, uma (1) no Amapá, uma (1) no Amapá/Pará e uma (1) no Tocantins (MMA, 2006). Mesmo assim, o desmatamento aumentou consideravelmente, principalmente a partir do ano de 2001, pressionando o governo brasileiro a tomar medidas para conter esse avanço. Em meados de 1984, anos após a abertura das rodovias BR-163 e BR-230, o processo de desmatamento em formato de “espinha de peixe” já era visível, acentuando-se a partir de 2000, principalmente ao redor da BR-230 (Figura 1).



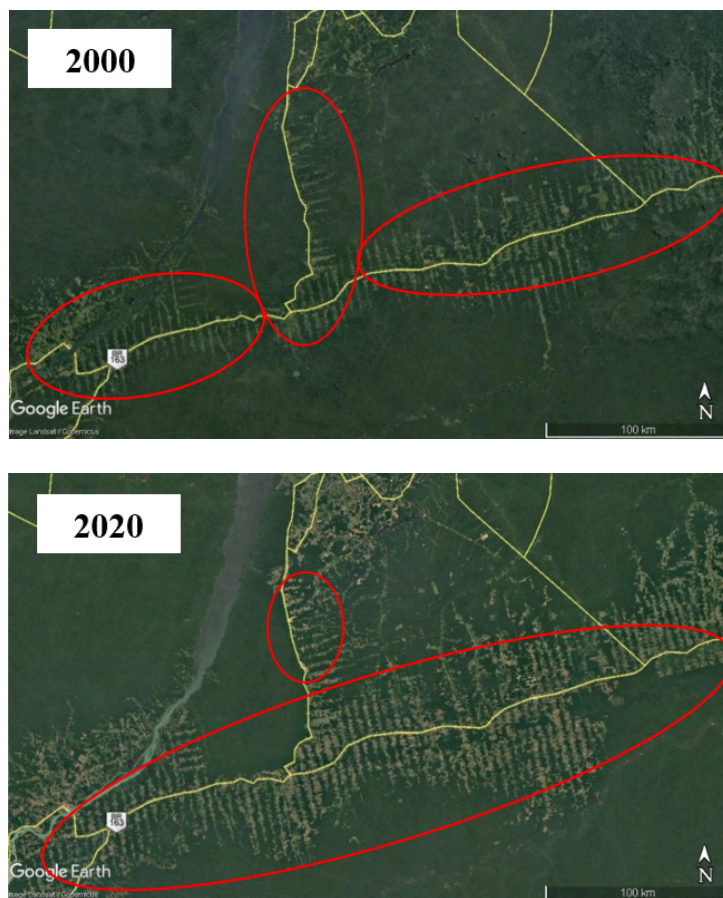


Figura 1. Trecho de influência das BR-163 e BR-230 entre 1984 e 2020. Destaca-se regiões com desflorestamento mais acentuado, elaborado pelos autores a partir de imagens de satélite do Google Earth.

Nas imagens de 2020 também é possível identificar pressão e desflorestamento no canto direito, que, “guiado” pela rodovia PA-279, forma um arco de pressão nessa faixa de terra, em um *buffer* ao redor de rodovias, estradas oficiais e não oficiais.

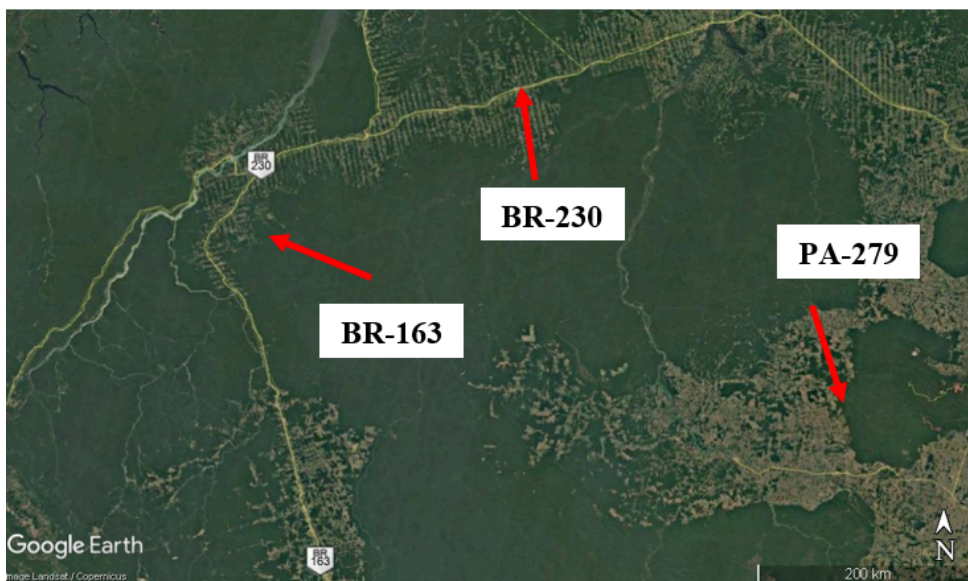


Figura 2. Pressão das rodovias sobre a floresta amazônica, elaborado pelos autores a partir de imagens de satélite do Google Earth.

O desflorestamento amazônico avança paralelamente ao aumento da extensão rodoviária, com destaque às porções leste e oeste da figura, destacado com setas (Figura 2). O cenário torna-se mais preocupante pois nessas regiões tem-se diversas áreas protegidas que estão sendo afetadas pela expansão.

Procedimentos metodológicos

O estudo foi realizado observando os anos de 2005 a 2007, sendo 2006 o ano de implantação da política. A Tabela 1 sumariza as etapas realizadas para a avaliação do impacto do Plano de Desenvolvimento Regional Sustentável da Área

de Influência da BR-163. Ele apresenta cada uma delas e uma breve descrição do que foi realizado.

Etapa	Nome	Descrição
1	Visualização da variação	Gráficos apresentando a distribuição do desmatamento ao longo do tempo, especificamente nos anos de 2005 a 2007 (exatamente pós política).
2	Pareamento	Seleção de casos mais semelhantes para constituir melhores casos de controle. Eles seriam os melhores casos disponíveis para minimizar as diferenças que poderiam impactar o efeito da política para além do tratamento.
3	Método de estimação do impacto	Dentre os diversos métodos a existência de grupos de controle e tratamento antes e depois da política torna o estimador de diferenças em diferenças aplicáveis.
4	Modelos	Criação de modelos sem o pareamento, com pareamento com probabilidade invertida e pareamento por <i>nearest neighbor</i> . Avaliação do impacto estimado em diferentes configurações para avaliação de sua estabilidade.
5	Análise	Tomada de decisão sobre o efeito da política. Uma avaliação teórica baseada nos modelos. Os resultados são razoáveis teoricamente?

Tabela 1. Etapas da avaliação de impacto, elaborada pelos autores.

Para a primeira etapa foram selecionadas dezoito variáveis (Tabela 2), selecionadas baseadas nas metas e nos objetivos do plano. Elaborou-se o banco de dados no Excel e exportou-se para o *software* R para as análises descritiva e inferenciais.

Nome da variável	Descrição da variável	Fonte	Ano de referência
RODOV_INT_MUN	Rodovia com trajeto no interior do município. Valor 0: A BR-163 não se encontra dentro dos limites territoriais do município. Valor 1: A BR-163 encontra-se dentro dos limites territoriais do município.	Própria	-
DIST_RODOV	Distância (km) do centroide do município à BR-163	Própria	-
AREATI	Área total (ha) de Terras Indígenas homologadas	ISA	2021
AREAUC	Área total (ha) de Unidades de Conservação instituídas (Federais, Municipais e Estaduais)	ISA	2021
POP_TOTAL	População residente total	Atlas Brasil	2000 e 2010
AGUA_ESGOTO	% de pessoas em domicílios com abastecimento de água e esgotamento sanitário inadequados	Atlas Brasil	2000 e 2010
T_LUZ	% da população em domicílios com energia elétrica	Atlas Brasil	2000 e 2010
T_LIXO	% da população em domicílios com coleta de lixo	Atlas Brasil	2000 e 2010
FLORESNAT	Área florestal natural total (ha)	MAPBIOMAS	2000-2012
PIB_per_capita	PIB per capita	DATASUS/IBGE	2000-2012
FOCOS	N de focos registrados pelos satélites do INPE	INPE	2000-2012
EFETIVOBOV	Tamanho estimado do rebanho bovino, em número de cabeças totais, englobando todas as categorias animais (machos e fêmeas, jovens e adultos)	SIDRA/IBGE	2002-2012
EMBARGO	N de embargos aplicados pelo IBAMA.	IBAMA	2005-2012
DESMAT	Desmatamento total registrado (ha)	PRODES	2000-2012
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal. Média geométrica dos índices das dimensões Renda, Educação e Longevidade	Atlas Brasil	2000 e 2010
GINI	Mede o grau de desigualdade existente na distribuição de indivíduos segundo a renda domiciliar per capita. Seu valor varia de 0, quando não há desigualdade (a renda domiciliar per capita de todos os indivíduos têm o mesmo valor), a 1, quando a desigualdade é máxima (apenas um indivíduo detém toda a renda)	Atlas Brasil	2000 e 2010
AREAPASTO	Área de pastagem total (ha)	MAPBIOMAS	2000-2012
AREACOL	Área colhida (ha)	SIDRA/IBGE	2000-2012

Tabela 2. Descrição das variáveis selecionadas na primeira etapa, elaborada pelos autores.

Tanto para análise descritiva quanto para a inferencial foi utilizado o *software* estatístico R versão 4.0.5. Para criação de tabelas de descritivos foi utilizado o pacote *dplyr* na versão 1.0.4 e para os gráficos foi utilizado o *ggplot2* na versão 3.3.3 (Wickham et al., 2021).

Para o pareamento foi utilizado o R base com as funções básicas de modelos lineares generalizados (*glm*) para cálculo dos escores de propensão e o pacote *MatchIt* (Ho et al., 2011) para o pareamento baseado no *nearest neighbor*. Para os modelos de diferenças em diferenças foi utilizada a função *lm* do pacote base e os pacotes *sandwich* na versão 3.0-0 (Zeileis, Köll e Graham, 2020) e *lmtest* na 0.9-38 (Zeileis e Hothorn, 2002) para estimação de erros robustos.

Resultados e discussões

O tratamento foi definido como variável independente do modelo. É categórica e indica que o município foi tratado quando recebeu a política, ou grupo de controle, quando não a recebeu. É possível também chamar estes de grupo de comparação, uma vez que não se tem o controle sobre se recebeu ou não a política.

A amostra do estudo, contendo 28 municípios selecionados para receber a política (Tabela 3), decisão baseada sua localização e no impacto da BR-163 sobre os municípios paraenses. A amostra completa desse estudo é composta por 143 casos, sendo 28 (19,58%) municípios que foram incluídos na política que serão chamados de grupo tratado e os outros 115 são municípios que não receberam a política (80,42%), que serão referenciados como grupo de controle ou comparação.

Tratame	N	%
Não	115	80,42
Sim	28	19,58

Tabela 3. Tamanho da amostra (N) por grupo de tratamento, elaborada pelos autores.

O Plano de Desenvolvimento Regional Sustentável (Plano BR-163 Sustentável) teve sua versão final lançada em junho de 2006, por isso, adotou-se este ano como o período antes da política e o ano de 2007 como ano posterior, para a realização da metodologia proposta.

Como variável dependente definiu-se o Desmatamento nesses municípios, calculado a partir do Programa PRODES. A Tabela 4 e o gráfico da Figura 3

apresentam os descritivos do desmatamento para o período de antes de depois da política (antes=2006; depois=2007) para os grupos de tratamento e controle.

Tratamento	Período	N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão	Coefvar
Não	Antes	115	0	825760	144263,74	170774,28	1,18
Não	Depois	115	0	834910	146652,17	175028,43	1,19
Sim	Antes	28	22110	1456360	231846,07	277307,91	1,20
Sim	Depois	28	22420	1544110	241990,36	293693,63	1,21

Tabela 4. Descritivos do desmatamento, por grupo e período, elaborada pelos autores

Levando em conta o período de antes e depois do tratamento, pode se notar que a média do desmatamento é bastante similar para os dois grupos. Analisando essa média, o grupo de controle apresentou um incremento médio de 10.144ha entre o antes e o depois. O grupo de controle também apresentou incremento de 2388.5ha no período. Para melhor visualização dos níveis de desmatamento entre os dois grupos, tem-se abaixo o *box blot*.

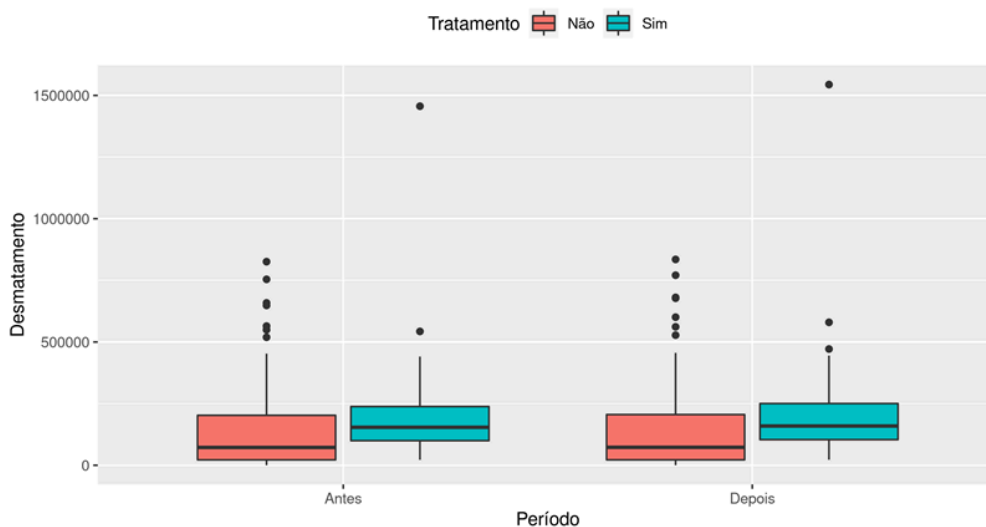


Figura 3. Desmatamento por grupo e período, elaborada pelos autores.

O grupo de controle apresentou uma média menor que o grupo de tratamento e essa diferença pareceu aumentar com a implantação da política em 2006 comparando visualmente a linha preta no centro das caixas (mediana que equivale a 50% dos casos). Nesse sentido, é possível notar que 75% dos casos de tratamento, nos dois períodos, possuem média superior a 50% dos casos do grupo de controle. Importante notar também a existência de casos destoantes marcados como pontos acima das barras. Eles se mostraram mais frequentes no grupo de controle.

Posteriormente, avaliou-se a série temporal para os dados do desmatamento, observando-se o crescimento acima da média desse desflorestamento desde os anos 2000. Na Figura 4 há uma síntese detalhada dessas informações.

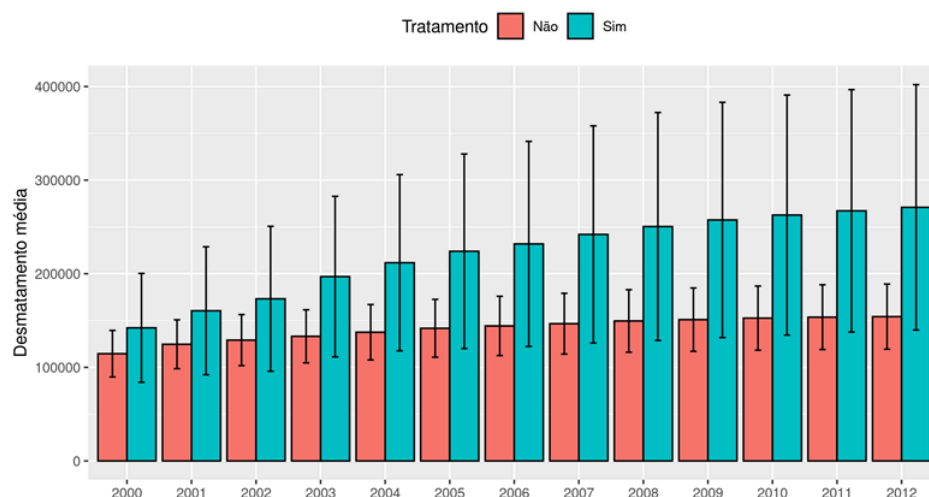


Figura 4. Média do desmatamento por grupo no tempo (IC 95%), elaborada pelos autores.

No início da década a variável desmatamento no tratamento e no controle possuíram o valor máximo e a média de desmatamento semelhante, variável que ficou mais destoante com o passar dos anos, com uma média de 154175,30ha nos municípios de controle para 270926,79ha no município de tratamento. Além disso, destaca-se que o controle possui municípios que não foram desmatados no período em questão.

Para analisar como a variável dependente se comportou com o passar dos anos no grupo de tratamento (municípios beneficiários da política) e no grupo de controle (municípios não beneficiários), tem-se a figura abaixo com as médias desses grupos entre 2000 e 2012.

A média do desmatamento no grupo de tratamento se mostrou muito maior do que no grupo de controle, apesar de os outros municípios sofrerem a influência de outras rodovias federais que são vetores de pressão, entre outros empreendimentos com grande magnitude de impacto. Também foi possível perceber que a região de influência da BR-163 exerceu bastante influência nas taxas de desflorestamento do estado do Pará, visto que, apesar do tratamento ter uma quantidade menor de municípios (comparado ao grupo de controle), deteve a maior quantidade de hectares desflorestados. A Figura 5 indica o crescimento do desflorestamento no grupo de tratamento e controle.

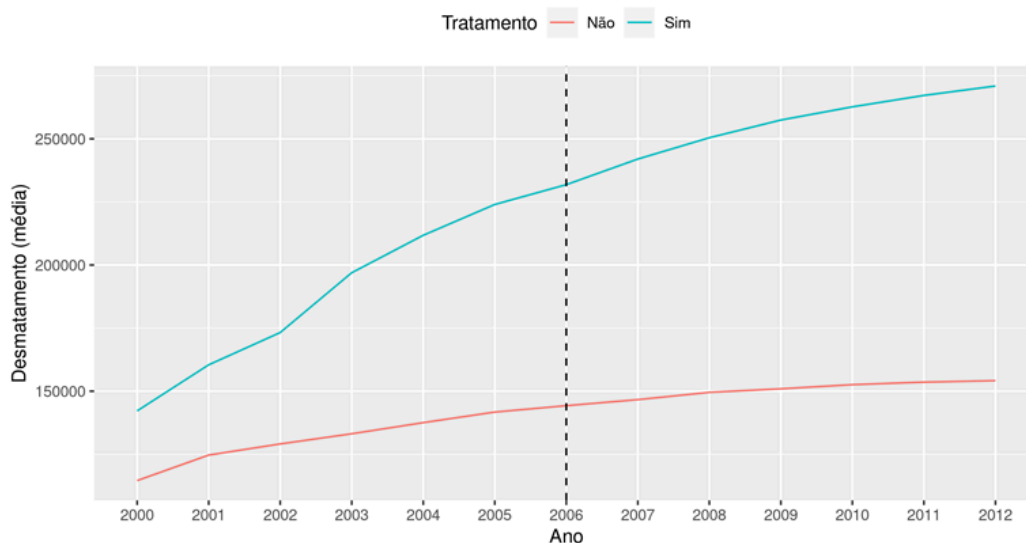


Figura 5. Média do Desmatamento por grupo no recorte temporal selecionado, elaborada pelos autores

Analisando o grupo de controle foi possível observar o aumento da média do desmatamento, já observando o grupo de tratamento o crescimento tornou-se mais exponencial, principalmente entre 2001 e 2003 e continuou aumentando mesmo após a criação e implementação da política. Mesmo assim, o desmatamento cresceu ao longo do tempo em ambos os grupos, o que já impôs certa limitação à hipótese de que a política reduziu o desmatamento.

Esse comportamento indica que um dado em um determinado período do tempo está associado com seu valor no passado. Visto esse comportamento, o nível de mensuração original do desmatamento (em hectares) pode não ser a forma mais

adequada de apresentar os dados para os objetivos deste estudo, necessitando de uma transformação linear.

Uma forma tradicional de avaliar dados que se comportam dessa maneira é usar transformações lineares. Nos estudos de séries econômicas e temporais um procedimento comum é tomar a primeira diferença. Isto é, subtrai-se o valor de X no tempo t do seu valor no tempo t-1. É importante notar que se pode fazer essa transformação, pode-se calcular também a variação percentual dessa mesma série, procedimento adotado aqui. Para isso, utilizou-se a seguinte notação:

$$VPD = \frac{D_t - D_{t-1}}{D_{t-1}} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

A VPD é variação percentual (ou diferença percentual) do desmatamento⁵, D é desmatamento no ano t, e Dt-1 é valor do desmatamento no ano anterior. Essa transformação é interessante porque foi observado que já havia uma tendência na série que impõe uma dependência entre valores contíguos. A Figura 6 apresenta essa variação do desmatamento por grupo com e sem o ano de 2001.

A diferença entre os dois gráficos é que o gráfico da direita não apresenta o caso do ano de 2001, uma vez que ele é um *outlier*⁶. Por isso, utilizar essa

⁵ Um indicador tradicional que segue essa linha é o crescimento econômico anual de um país. Além de olhar o valor do PIB bruto, avalia-se se a economia cresceu ou não entre períodos consecutivos.

⁶ O devido ano apresentou uma média 416%. Isso pode ser devido à qualidade dos dados para o início da série.

transformação permite a visualização da série de forma mais adequada removido o efeito do ano anterior e a tendência de crescimento.

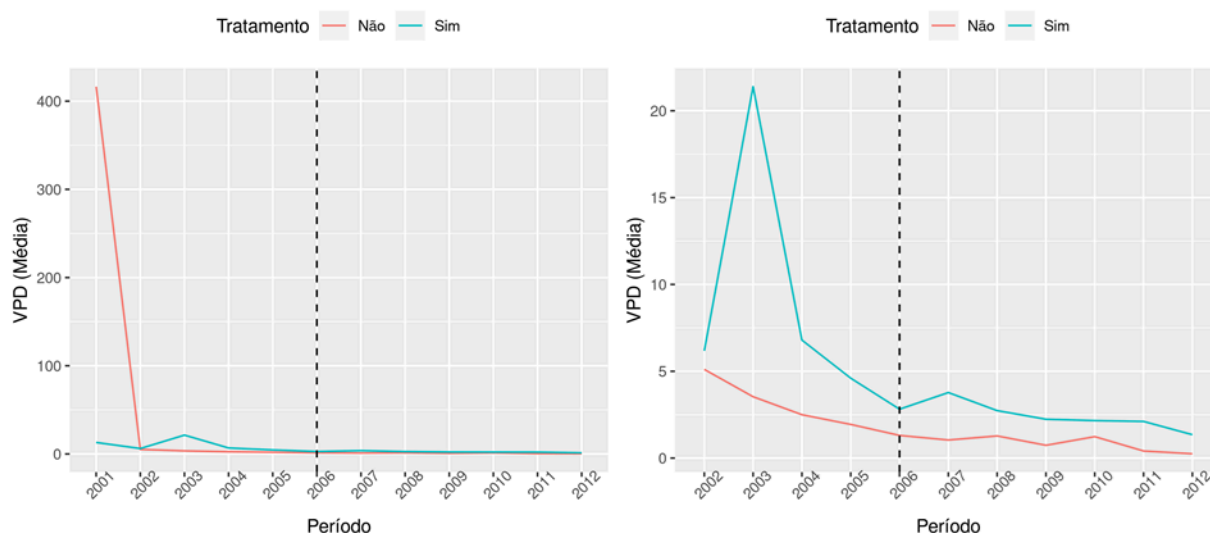


Figura 6. VPD por grupo no tempo com e sem 2001, elaborada pelos autores.

O gráfico apresenta intuições interessantes para o entendimento do efeito da política mensurado entre 2006 e 2007. Em termos de variação percentual, o desmatamento apresentou uma redução ao longo do tempo⁷, embora os anos iniciais da série tenham apresentado uma grande oscilação. Contudo, a partir de 2003 houve uma tendência de redução do incremento do desmatamento tanto no grupo de controle, quanto no grupo de tratamento. Os dados exatos estão na Tabela 5.

⁷ Embora o desmatamento cresça ao longo do tempo, ele está diminuindo o ritmo a cada ano.

Ano	Tratamen	VPD (%)	Desmatamento
2001	Não	416,37	124682,35
2001	Sim	13,03	160443,57
2002	Não	5,11	129099,65
2002	Sim	6,18	173238,21
2003	Não	3,53	133128,61
2003	Sim	21,39	196945,00
2004	Não	2,50	137537,13
2004	Sim	6,80	211775,00
2005	Não	1,94	141728,26
2005	Sim	4,60	223992,50
2006	Não	1,31	144263,74
2006	Sim	2,82	231846,07
2007	Não	1,04	146652,17
2007	Sim	3,77	241990,36
2008	Não	1,28	149540,09
2008	Sim	2,73	250439,29
2009	Não	0,74	150954,61
2009	Sim	2,24	257451,79
2010	Não	1,24	152589,57
2010	Sim	2,16	262681,07
2011	Não	0,41	153592,17
2011	Sim	2,11	267202,14
2012	Não	0,25	154175,30
2012	Sim	1,35	270926,79

Tabela 5. VPD média por grupo no tempo, elaborada pelos autores.

Para fins de análise do impacto da política em 2006 e 2007 foi utilizada a VPD visto que a série em si já apresentou crescimento contínuo para os dois grupos desde o início da série. Logo, não se espera que ela inverta a direção abruptamente em sua

unidade original. Isso pode ocorrer por diversas razões: expansão da pecuária, aumento dos focos de queimadas, exploração madeireira, aumento da densidade populacional, entre outros fatores discutidos em literatura. Com isso, a cada ano, espera-se naturalmente um incremento do desmatamento. A variação percentual remove esse padrão e mostra que ela estava caindo até a política em 2006.

Seleção de casos para comparação: pareamento

Existem diversas técnicas estatísticas que podem ser enquadradas no conceito de pareamento (Gertler et al., 2018) sendo seu principal objetivo a criação de grupos de comparação que maximizem a semelhança entre estes e os casos tratados por determinada intervenção (Cunningham, 2018). Em resumo, a ideia é encontrar no conjunto de dados os indivíduos não tratados mais parecidos àqueles que receberam a política, considerando as variáveis disponíveis.

Dentre as possíveis abordagens, utilizou-se das estratégias: pareamento de *nearest neighbor* baseado no escore de propensão (EP); e EP ponderados, conhecido também como ponderação inversa de probabilidade (PIP). Neste último caso, especificamente, foram utilizados os EP como "ponderador" da probabilidade de participar de um programa, ao invés de apenas removermos os casos menos

semelhantes (abordagem um), isso permitirá utilizar todos os dados na estimativa do efeito da política. Dado o tamanho da amostra, essa abordagem auxiliará nas estimações.

Seleção de variáveis

Considerando as variáveis disponibilizadas no banco de dados elaborado, não foram utilizadas no pareamento: Focos de Queimada, Efetivo Bovino e Área de Pasto, por apresentarem correlação forte entre si e com a variável de resultado (desmatamento), sua utilização pode gerar problemas por poder inserir vieses no testes do efeito da política e na estimação dos coeficientes dos EP; Menor distância do centroide do município à rodovia, essa seria a variável mais importante já que ela é um dos critérios de seleção do tratamento, contudo todos os que deveriam ser tratados foram inseridos na política pública, não restando casos com características semelhantes (em rodovia) que não foram tratados. Isso indica a não existência de um contrafactual adequado usando essa variável. Em termos de estimação de modelo, as consequências são diretas já que o modelo não converge com sua inclusão.

Considerando essas limitações, as variáveis utilizadas para o pareamento foram: Inclusão ao Plano⁸; Área de Unidades de Conservação (2005); Área total de

⁸ Variável utilizada para separar municípios de tratamento e municípios de controle no pareamento.

Terras Indígenas (2005); Área Colhida (2005); Área de Floresta Natural (2005); População com água e esgoto (2000); Domicílios com energia elétrica (2000); Domicílios com coleta de lixo (2000); Números de embargos (2005); Índice de GINI (2000); População Total (2000); PIB per capita (2005) e IDH (2000). No caso das variáveis ambientais utilizou-se informação para antes da política (até 2006); quanto as variáveis sociais utilizaram informações mais recentes também para antes da política, contudo a maioria das informações deriva-se dos dados de censo de 2000.

A estratégia empírica adotada foi calcular os EP e fazer o pareamento baseado nesse EP utilizando um algoritmo agrupamento. Existem diversos algoritmos disponíveis, mas foi utilizado aqui o *nearest neighbor*. Em resumo, o algoritmo faz o pareamento entre unidades mais próximas em termos da distância de seu EP (propensão a participar do tratamento). Seleciona-se, portanto, unidades de controle que possuem um EP mais próximo a algum caso tratado. Assim, a razão de seleção foi 1 para 1, significando que se temos 28 tratados o pareamento selecionaria vinte e oito (28) não tratados para o grupo de controle, e sem reposição.

A segunda estratégia foi usar o EP para calcular o PIP, para ponderarmos o teste do efeito da política baseado na propensão em participar do programa. Essa estratégia ajuda na medida em que ela não requer a perda de casos.

Estimação dos EP

Para estimar os EP, utilizou-se o caminho tradicional, a utilização de uma regressão logística usando o *logit* como função de link. A Tabela 6 sumariza as informações para o modelo selecionado.

	Variável Dependente
	Tratamento
AREAUC_2005(lo	-0.032 (0.070)
AREATI_2005(lo	0.101 (0.068)
FLORESNAT_2005(1.446 ^{***} (0.554)
AGUA_ESGOTO_2	0.114 ^{***} (0.038)
T_LUZ_2000	-0.004 (0.024)
EMBARGO_2005(l	1.011 ^{***} (0.295)
GINI_2000	11.221 (8.997)
Constant	-32.324 ^{***} (11.318)
Observations	143
Log Likelihood	-22.360
Akaike Inf. Crit.	60.721

Nota: * p<0.1; ** p<0.05; *** p<0.01

Tabela 6. Modelo logístico para EP, elaborado pelos autores.



A variável Área Colhida (2005) apresentou *missing cases* para 9 casos, por isso foi removida do modelo apresentado. Em termos de impacto estatístico os modelos com e sem a variável não são diferentes estatisticamente, ou seja, não há decremento significativo nos erros do modelo sem a variável. Como a amostra possui um tamanho pequeno, decidiu-se maximizar os casos ao invés da variável. Além disso, devido à distribuição das variáveis, utilizou-se transformação logarítmica para ajustar sua assimetria.

Como algumas variáveis apresentaram valor zero (0), foi necessário adicionar uma constante de 0.1 para ser possível aplicar a função logarítmica. Mesmo assim, nesses casos, uma frequência alta nos valores baixos impediu melhor ajuste na distribuição.

Considerando as variáveis inseridas no modelo, Floresta Natural e Embargos foram as variáveis ambientais com efeito significativo no modelo. Além disso, a variável residência com Água e Esgotos afetou significativamente o modelo. Em conjunto, esses resultados indicaram que há uma diferença prévia entre tratados e o grupo de controle em relação a essas variáveis.⁹ Embora as demais variáveis não

⁹ As variáveis população residente (2000), PIB per capita (2005), taxa de lixo, IDHM (2000) foram retiradas do modelo por apresentaram um balanceamento adequado entre tratamento e controle previamente à política. Além disso, essas duas últimas apresentaram bastante instabilidade no modelo devido sua alta correlação. Assim, optamos por removê-las do cálculo do EP.

sejam significativas elas ajudaram a reduzir erros do modelo, e como será demonstrado posteriormente, o pareamento em relação a elas melhora na etapa seguinte.¹⁰

As tabelas abaixo apresentam estatísticas de ajuste do pareamento entre os grupos de tratamento e controle antes e depois do pareamento. Embora haja muitas delas, baseamo-nos nas estatísticas descritivas para avaliar a qualidade do resultado.

	Média Tr:	Média Coi	Dif Média Pac	Razão d variânci
Escore de Propens.	0,77	0,055	2,500	4,999
AREAUC_2005(lo	6,11	2,530	0,478	1,337
AREATI_2005(log	7,04	-0,24	0,979	2,458
FLORESNAT_2005(i	14,04	11,41	1,995	0,986
AGUA_ESGOTO_2	60,35	52,41	0,479	0,982
T_LUZ_2000	54,60	65,69	-0,720	0,580
EMBARGO_2005(l	0,42	-1,90	1,559	2,327
GINI_2000	0,60	0,584	0,355	0,762

Tabela 7. Descritivos das covariáveis antes do pareamento, elaborada pelos autores.

Observou-se, comparando as tabelas pré e pós pareamento, que as médias das variáveis, do grupo de tratamento e controle, são mais próximas depois do pareamento. Isso significa que o pareamento em si ajudou a criar grupos mais semelhantes. Por exemplo, na amostra geral, o EP era de 0.77 para o grupo tratado e

¹⁰ Não há consenso na literatura se variáveis com efeitos não significativos deveriam ser removidas do modelo, mas o critério AIC com sua presença é menor indicando melhor ajuste.

0.05 para o grupo de controle. Após pareamento, o grupo de controle ficou mais próximo contabilizando uma média de 0.212. A mesma comparação pôde ser feita para as demais variáveis. Por exemplo, avaliando a área de unidades de conservação os grupos são muito mais semelhantes com o pareamento: tratados com uma média de 6.12 e controle com 5.81.¹¹

	Média Tratamento	Média Controle	Dif Média Pareamento	Razão da variância
Escore de Propensity	0,773	0,21	1,952	2,317
AREAUC_2005(log)	6,114	5,81	0,040	1,063
AREATI_2005(log)	7,048	2,93	0,552	1,202
FLORESNAT_2005(log)	14,047	13,0	0,771	2,615
AGUA_ESGOTO_2005(log)	60,354	58,1	0,133	0,835
T_LUZ_2000	54,603	54,7	-0,013	0,580
EMBARGO_2005(log)	0,423	-1,3	1,180	1,225
GINI_2000	0,602	0,53	0,197	0,635

Tabela 8. Descritivos das covariáveis após pareamento, elaborada pelos autores.

Contudo, uma pergunta importante é: os grupos são suficientemente semelhantes? Não há consenso na literatura quanto a isso (Ho et al., 2011), mas sabe-se que o ideal seria que a diferença média fosse zero. Assim, a diferença entre o grupo de controle e de tratamento em relação a um conjunto de covariáveis não existiria. Uma recomendação é de que a diferença média padronizada de uma variável seja ≤ 0.1 e a variância seja ≤ 2 (Ho et al., 2011). Viu-se que apenas metade das

¹¹ A variável está em log.

variáveis no pareamento cumpriram esses critérios: área de unidades de conservação, população com energia elétrica e Gini. Água e esgoto aproximam-se consideravelmente desse patamar, do mesmo modo. Por outro lado, embargos, floresta natural, áreas indígenas homologadas e o próprio EP estavam longe desse patamar.

Em conclusão, o pareamento melhorou consideravelmente a semelhança entre tratados e grupo de controle. Contudo, esse pareamento está longe do ideal para uma série de variáveis, não garantindo que o pareamento cumpriu sua função de eliminar o viés. O maior problema aqui foi a forma usada para atribuição do tratamento (a política pública) que não permitiu melhor pareamento. A Tabela 9 apresenta a redução percentual das médias entre os grupos.

	Percentual (%)
Escore de Propensão	21,91
AREAUC_2005(log)	91,70
AREATI_2005(log)	43,59
FLORESNAT_2005(lo	61,33
AGUA_ESGOTO_200	72,31
T_LUZ_2000	98,24
EMBARGO_2005(log	24,28
GINI_2000	44,62

Tabela 9. Melhora do balanceamento após pareamento (%), elaborada pelos autores.

Essa tabela pode ser analisada como o percentual de melhora do pareamento em relação à amostra completa. Observa-se que as variáveis que apresentam uma diferença média padronizada menor, aqui ela é mais próxima de 100, sendo este o limite para uma melhora percentual. A melhora em termos de EP foi de 21.91%, enquanto de área de unidades de conservação foi de 91.70%.

Como salientado anteriormente, selecionou-se um caso de controle para cada caso de tratamento, não permitindo que esses casos fossem duplicados. A Tabela 10, resume o tamanho amostral resultante para o pareamento de *nearest neighbor*.

	Controle	Tratado
Todos	115	28
Pareado	28	28
Não-Parea	87	0

Tabela 10. Tamanho da amostra após pareamento. elaborada pelos autores.

Portanto, tem-se vinte e oito (28) casos que receberam a política e vinte e oito (28) casos que não receberam e foram pareados. No total, oitenta e sete (87) casos foram descartados por serem mais diferentes dos demais.

Ponderação inversa da probabilidade (PIP)

O *matching* do EP sem reposição remove casos que não foram pareados. Como contamos com apenas 28 casos tratados, foram selecionados vinte e oito (28) casos de controle, diminuindo ainda mais a amostra. Para diminuir problemas potenciais de lidar com apenas cinquenta e seis (56) casos, foi utilizada a técnica de PIP.

A técnica usa os EP invertidos na estimação do efeito causal da política. Nesse sentido, utilizou-se o mesmo cálculo utilizado no modelo 1 (Tabela 6), extraiu-se os EP e inverteu-se as probabilidades para utilizá-las como ponderação nos testes seguintes. A lógica por trás da ponderação é a de que casos atípicos recebem maior

peso: Atipicidade significa que o caso possui alta propensão de ser tratado, mas não foi (e vice-versa).

Considerando que o efeito que se objetivou estimar foi o efeito causal da política no grupo de tratamento (ATT), pôde-se calcular a ponderação da seguinte forma:

$$\frac{EP * T}{EP} + \frac{EP * 1 - T}{1 - EP} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde EP é o escore de propensão e T recebe valor de 1 representando os tratados. Esse valor será usado para ponderar os casos dando maior peso aos casos mais próximos do contrafactual.

O Efeito do Plano BR-163 Sustentável

Utilizou-se um modelo de Diferenças em Diferenças (DiD) considerando que se objetiva estimar o efeito médio da política tendo como alvo o grupo de tratados, uma vez que há dados para antes e depois da política, bem como para um grupo de tratados que receberam a política e um grupo de controle que não recebeu.

Embora existam diversas formas para estimar um efeito de DiD, usando inclusive apenas subtração, utilizaremos a notação de um modelo de regressão linear como o modelo especificado abaixo (Cunningham, 2018; Gertler et al., 2018).

$$y = \alpha + \beta_1 d_i + \beta_2 p_t + \beta_3 d_i x p_t + \beta_4 X_i + u_{i,t} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde, d_i é uma *dummy* que recebe o valor 1 se tratado (e 0 se é do grupo de controle), p_t é uma *dummy* que recebe valor 1 se o período é após política e 0 se for antes (comparação entre 2007 e 2006). Neste caso, o coeficiente β_3 é a interação entre o tratamento e o período posterior da política que representa o estimador de DiD: o efeito médio sobre os tratados. β_4 representa o conjunto de variáveis para controle já utilizados no pareamento e variáveis adicionais. Por fim, $u_{i,t}$ são os erros do modelo.

Na prática, y é desmatamento mensurado como a variação percentual entre dois períodos consecutivos (Figura 7), d é 1 se o município foi tratado, p é 1 se o período é 2007 (pós política). A estratégia empírica utilizada aqui é: um modelo sem ajustes de pareamento; um modelo com PIP; e um modelo com o pareamento de *nearest neighbor*.

	Variável dependente		
	Desmatamento (VPD)		
	(1)	(2)	(3)
Constante	-2,709** (1,112)	-0,777 (2,573)	-2,581 (4,241)
tratamentoTratamento	0,622	0,189	0,477

	(0,420)	(0,423)	(0,764)
periodoDepois	-0,285 (0,208)	-0,474 (0,465)	-0,383 (0,282)
floresta_nativa(log)	0,324 ^{***} (0,078)	0,183 (0,129)	0,311 (0,211)
efetivo_bovino(log)	-0,178 [*] (0,095)	0,135 (0,183)	0,034 (0,231)
area_pasto(log)	0,270 ^{**} (0,113)	0,169 (0,201)	0,192 (0,194)
EMBARGO_2005(log)	0,035 (0,094)	-0,092 (0,095)	-0,102 (0,212)
AGUA_ESGOTO_2000	-0,012 ^{**} (0,006)	-0,043 ^{***} (0,011)	-0,033 [*] (0,019)
Estimativa de DiD:			
tratamentoTratamento:periodoDepois	1,234 ^{***} (0,468)	1,426 ^{**} (0,551)	1,335 ^{**} (0,530)
Observações	284	284	112
R ²	0,325	0,296	0,291
R ² Ajustado	0,305	0,276	0,236
Erro padrão residual	1,567 (df=275)	1,107 (df=275)	2,060 (df=103)
F Estatística	16,556 ^{***} (df=8; 275)	14,458 ^{***} (df=8; 275)	5,277 ^{***} (df=8; 103)

Nota: * p<0,1; ** p<0,05; *** p<0,01

Tabela 11. Modelo DiD para variação percentual do desmatamento, elaborada pelos autores.

Os três modelos na Tabela 11 referem-se às estimativas de MQO (Mínimos quadrados ordinários), mas cada um com uma especificidade. O modelo 1 corresponde a todos os casos (tratados e não) na base de dados; o modelo 2 corresponde a todos os casos, mas utilizando o EP invertido (PIP); o modelo 3 refere-se ao pareamento do EP dos *nearest neighbor*, com erros robustos e *clusterizados* já que há um grupo de pertencimento entre eles.

Observa-se que o efeito à população com água e esgoto é significativo mesmo após o pareamento indicando sua importância como controle. Para cada 1% a mais da população com água e esgoto é esperado uma redução de 0,012, 0,043 e 0,033% na diferença percentual do desmatamento. Contudo, as variáveis adicionais de controle só apresentam significância estatística no primeiro modelo, considerado mais simples por não haver nenhum tipo de seleção entre os casos. O efeito de floresta nativa, efetivo bovino e área de pasto não são significativos quando se considera os dois tipos de pareamento utilizados aqui.

Analisando o efeito da política, o coeficiente da interação "tratamento/período" que representa a diferença média no percentual de desmatamento para entre casos tratados e não tratados pós política (estimativa de DiD), percebemos que a estimativa do efeito da política é positiva e significativa nos

três modelos. No modelo 1, espera-se um incremento de 1,234% na diferença do desmatamento pós política no grupo de tratados, que sobe para 1.426% no modelo com PIP, e fica em 1.335% no pareamento de *nearest neighbor*. Salienta-se que o modelo 3 é mais rigoroso e conservador acerca da estimativa da significância estatística. Esse incremento já era esperado, devido às médias entre tratados e controle (Figura 7).

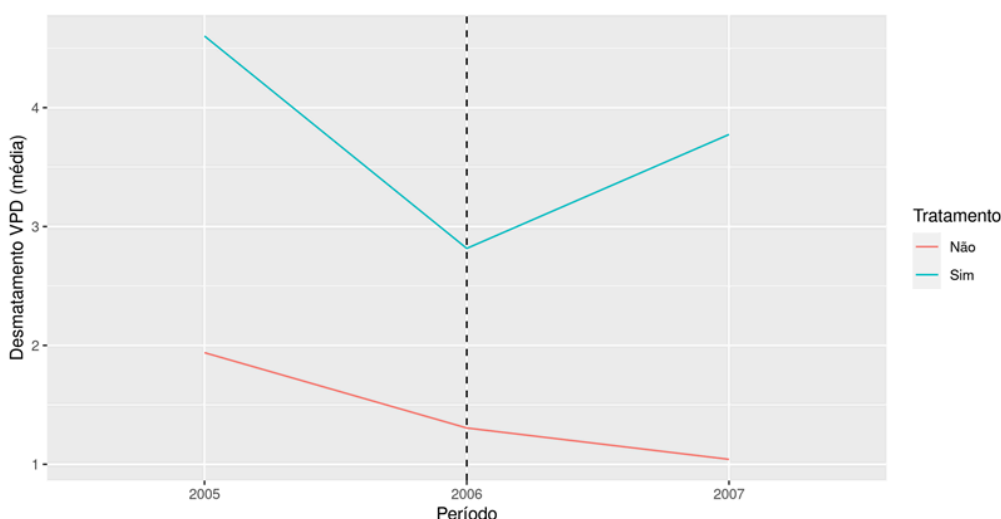


Figura 7. VPD por tratamento e período, elaborada pelos autores.

Percebeu-se que o desmatamento estava decaindo desde antes do tratamento em 2006. Após o tratamento, a média da variação percentual do desmatamento aumentou para o grupo que recebeu a política. O grupo de controle manteve o decaimento, embora sugira uma diminuição na velocidade pós política. Como um

exemplo simples, a Tabela 12 apresenta a comparação média desse período para todos os casos sem pareamento.

ano	tratamento	desmatamento VPD
2005	Não	1,939
2005	Sim	4,602
2006	Não	1,305
2006	Sim	2,816
2007	Não	1,042
2007	Sim	3,774

Tabela 12. Tendência antes e depois do tratamento, elaborada pelos autores.

Baseado nos dados, o percentual de desmatamento foi de 4,60% em 2005, 2,82% em 2006 e interrompeu essa queda apresentando 3,77% no ano posterior à política, enquanto o grupo de controle segue a queda, lentamente. Se tomarmos a diferença no grupo de controle ela seria de 0,95%: bem próximo do estimado pelos modelos de regressão.

Portanto, avaliando a distribuição gráfica e os modelos apresentados na tabela de regressão, tem-se que no ano posterior à implementação da política a variação percentual do desmatamento aumentou significativamente.

O Efeito do Plano Br-163 Sustentável nos anos seguintes

Existe um efeito significativo no incremento do desmatamento em 2007 pós implementação do Plano. No geral, a distribuição da variação do desmatamento apresentava queda a partir de 2003 e enquanto o grupo de controle manteve o padrão em 2007, o grupo de tratamento observou um aumento, quebrando o padrão dos anos anteriores. Assim, buscou-se analisar se a mudança observada em 2007 se manteve sustentável e nos anos seguintes, qual padrão emergiu. A Tabela 13 compõe um quadro de respostas para essas questões.

	Variável dependente		
		Desmatamento VPD	
	(1)	(2)	(3)
Constante	-2,251 ^{***} (0,533)	-0,224 (1,198)	-1,699 (2,759)
tratamentoTratamento	0,592 [*] (0,315)	0,271 (0,343)	0,518 (0,646)
PeriodoT1(2007)	-0,266 (0,182)	-0,467 (0,399)	-0,362 (0,280)
PeriodoT2(2008)	-0,016 (0,183)	-0,290 (0,399)	0,218 (0,264)
PeriodoT3(2009)	-0,565 ^{***}	-1,245 ^{***}	-0,652 [*]

	(0,182)	(0,399)	(0,386)
PeriodoT4(2010)	-0,068 (0,183)	0,574 (0,399)	-0,133 (0,477)
PeriodoT5(2011)	-0,897 ^{***} (0,182)	-1,694 ^{***} (0,399)	-1,300 ^{***} (0,302)
PeriodoT6(2012)	-1,064 ^{***} (0,182)	-1,882 ^{***} (0,399)	-1,552 ^{***} (0,331)
floresta_nativa(log)	0,365 ^{***} (0,036)	0,226 ^{***} (0,059)	0,328 ^{**} (0,150)
efetivo_bovino(log)	-0,084 ^{**} (0,043)	0,047 (0,083)	0,089 (0,180)
area_pasto(log)	0,057 (0,053)	0,029 (0,093)	-0,052 (0,178)
EMBARGO_2005(log)	0,025 (0,044)	-0,065 (0,044)	-0,089 (0,132)
AGUA_ESGOTO_2000	-0,006 ^{**} (0,003)	-0,021 ^{***} (0,005)	-0,016 (0,013)
Estimativas DiD:			
tamentoTratamento:periodoT1	1,223 ^{***} (0,410)	1,425 ^{***} (0,473)	1,322 ^{**} (0,528)
tratamentoTratamento:periodoT2	-0,063 (0,410)	0,204 (0,473)	-0,304 (0,445)
tratamentoTratamento:periodoT3	-0,004 (0,410)	0,660 (0,473)	0,070 (0,561)

tratamentoTratamento:periodoT4	-0,584 (0,410)	-1,237 ^{***} (0,473)	-0,525 (0,592)
tratamentoTratamento:periodoT5	0,191 (0,410)	0,987 ^{**} (0,473)	0,602 (0,438)
tratamentoTratamento:periodoT6	-0,399 (0,410)	0,408 (0,473)	0,083 (0,513)
Observações	993	993	391
R ²	0,314	0,238	0,239
R ² Ajustado	0,302	0,224	0,203
Erro padrão residual	1,375 (df=974)	0,952 (df=974)	1,756 (df=372)
F Estatística	24,823 ^{***} (df=18; 974)	16,926 ^{***} (df=18; 974)	6,504 ^{***} (df=18; 372)

Nota: * p<0,1; ** p<0,05; *** p<0,01

Tabela 13. Modelo DiD para variação percentual do desmatamento com períodos, elaborada pelos autores

Em termos formais, estendeu-se o modelo de DiD estimado acima adicionando grupos de tempo à variável Dt que representava a mudança entre antes e depois da política para apenas um ano. Agora, Dt é um conjunto de *dummies*, sendo um período após comparado com 2006 (T0) que é nossa categoria de referência. T6, por exemplo, representa seis anos pós política (de 2012).

Os coeficientes estimados para o efeito da política nos tratados em T1 foram praticamente iguais aos estimados anteriormente. Uma pequena variação ocorreu

em função da alteração dos graus de liberdade e da variação das variáveis independentes no tempo. Temos aqui um efeito positivo e significativo nos três modelos estimados (sem pareamento, com PIP e pareamento de *nearest neighbor*). Esse efeito, estimou-se 1,22 no modelo 1, 1,43 no modelo 2 e 1,33 no modelo 3.

A interpretação dos coeficientes de interação é igual: significando o efeito da política no grupo de tratamento no ano T pós política. Nosso interesse é observar se as oscilações observadas na Figura 6 são significativas. Como é possível perceber, a resposta não é tão simples assim.

Observou-se que a maioria dos coeficientes apontaram para uma redução do percentual de desmatamento no grupo de tratados ao longo dos anos que se seguiram comparado com os níveis de 2006 no modelo 1 (sem pareamento). Contudo, apenas o modelo 2 (pareamento com PIP) indica significância para algum desses anos. De acordo com esse modelo, em 2010 (T4) houve uma redução de 1,237 no percentual de desmatamento em relação aos níveis de 2006 e um incremento de 0,987 ano seguinte (T5=2011). Contudo, nem o modelo 3 (pareamento de *nearest neighbor*) nem o modelo 1 apresentaram significância para qualquer período após segundo ano da política (a partir de 2008).

Por outro lado, foi possível analisar que os efeitos fixos dos grupos de controle foram significativos para os períodos T3, T5 e T6 pós política. Isto é, o percentual de desmatamento seguiu diminuindo nesse grupo de cidades. O efeito foi consistente entre os três modelos explorados aqui.

O efeito da política em 2006-2007 foi considerável ao ponto de quebrar uma tendência de queda no T1 pós mudança, mas não foi possível identificar que esse efeito se manteve ao longo do tempo que se sucedeu utilizando a especificação com DiD. Logo, os dados sugerem que a velocidade de queda do desmatamento, diminuiu no grupo tratado. A falta de evidência consistente pode decorrer de vários fatores: modo de aplicação do tratamento; características dos tratados que não conseguimos controlar no pareamento; qualidade baixa dos dados (28 casos de tratados para estimar todos os coeficientes da Tabela 13 reduz as chances de encontrarmos um efeito para esse grupo); ou que o desmatamento ainda não diminuiu o suficiente até 2012 para se diferenciar de 2006.

Conclusões

O Plano BR-163 Sustentável surgiu e ganhou força pela mobilização e empenho da sociedade civil, se dependesse exclusivamente desses atores a política

teria sido grande exemplo de transversalidade e participação social em todas as etapas do ciclo. Porém, o que existiu mesmo foi um documento norteador de políticas setoriais, pouco organizado e sem metas estabelecidas, que perdeu força na agenda governamental. A dificuldade da realização da nossa avaliação de impacto se deu pelo próprio desenho do Plano, que apesar de apresentar suas diretrizes e objetivos bem definidos, não auxilia em sua avaliação.

O desmatamento, variável dependente, foi o principal indicativo do efeito da política, visto que é ação antrópica associada ao ordenamento territorial proposto pelo plano.

Durante a elaboração da avaliação da política, observou-se que seu desenho não favoreceu uma boa avaliação de impacto. O primeiro ponto a ser destacado foi o contrafactual da política, em que os beneficiários eram muito semelhantes entre si e possuem maior diferença com os municípios de controle. Essa semelhança associamos por uma provável correlação espacial, ou seja, municípios mais próximos possuíam características similares.

No geral, percebeu-se que a estimativa do efeito da política é positiva e significativa nos três modelos selecionados (sem pareamento, com PIP e pareamento de *nearest neighbor*).

Analisando o desmatamento de 2005-2007, o percentual de desmatamento foi de 4,60% em 2005, 2,82% em 2006, e interrompeu essa queda apresentando 3,77% no ano posterior à política nestes municípios. Já analisando o grupo de controle, foi possível identificar uma queda em um ritmo bastante lento. Se for tomada a diferença no grupo de controle ela seria de 0.95%, bem próximo do estimado pelos modelos de regressão.

Portanto, avaliando a distribuição gráfica e os modelos apresentados na tabela de regressão observou-se que o ano posterior à implementação da política a variação percentual do desmatamento aumentou significativamente, contrariando a hipótese de que a política diminuiria as taxas de desmatamento na região da BR-163 no Pará.

Analisando o impacto ao longo dos anos, os coeficientes estimados para o efeito da política nos tratados em T1 foram praticamente iguais aos estimados anteriormente. Uma pequena variação ocorreu devido à alteração dos graus de liberdade e da variação das variáveis independentes no tempo. Obteve-se um efeito positivo e significativo nos três modelos estimados. Esse efeito é estimado em 1,22% no modelo 1, 1,43% no modelo 2 e 1,33% no modelo 3. Já analisando seis anos pós criação da política (T0), não foi possível identificar significância estatística em todos os anos, com apenas o modelo 2 apresentando uma significância nos anos de 2007

(T1), 2010 (T4) e 2011 (T5). De acordo com esse modelo, em 2010 (T4) houve uma redução de 1,237% de desmatamento em relação aos níveis de 2006 e um incremento de 0,987 ano seguinte (T5=2011). Contudo, nem o modelo 3 (pareamento de *nearest neighbor*) tampouco o modelo 1 apresentaram significância para qualquer período após segundo ano a política (a partir de 2008).

Detectou-se uma desaceleração no avanço do desflorestamento nos municípios beneficiados pela política, porém não é possível afirmar que isso foi ocasionado pelo plano em questão ou por outros programas, como o PPCDAm, por exemplo. Concluiu-se que essa falta de evidência consistente ocorreu por: forma de aplicação do tratamento; impossibilidade de controle em características dos tratados no pareamento; qualidade baixa dos dados (28 casos de tratados para estimar todos os coeficientes reduz as chances de encontrar um efeito para esse grupo); ou que o desmatamento não diminuiu o suficiente até 2012 para se diferenciar de 2006.

O presente resultado da avaliação de impacto do Plano fornece pontos importantes que podem ser utilizados para a elaboração de políticas públicas ambientais posteriores, destacam-se a importância de: desenhar o processo de avaliação desde a formulação da política; relacionar os objetivos e metas com

indicadores obtidos a partir da implementação; estimar o contrafactual, deixando-o explícito na formulação.

Para a região da BR-163, ressalta-se a importância da análise dos resultados também em uma escala menor, verificando o avanço dos municípios sobre a política, principalmente devido a algumas regiões deterem maior pressão e impacto, comparadas a outras (destaque para Altamira, Itaituba e São Felix do Xingu). É relevante também verificar se existem padrões nessa região, ou seja, se municípios próximos detém características semelhantes e, com isso, produzem impactos de magnitude semelhante.

Essa análise dos padrões ou aglomerados pode ser ponto chave para a elaboração de políticas públicas ambientais para conter o avanço dos impactos negativos nos municípios de influência da BR-163, necessitando de ações precisas, para cada município, de forma agrupada considerando semelhanças espaciais.

Bibliografia

Alencar, A. A. C. (2005) *Estudo de caso: a Rodovia BR-163 e o desafio da sustentabilidade.* https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2005/03/estudo_de_caso_a_rodovia_br-163_e_o_desa.pdf [Acesso 31/01/2023]

Bonilla-Bedoya, S. et al. (2018) "Socioecological system and potential deforestation in Western Amazon forest landscapes". *Science of The Total Environment*. 644, pp. 1044–1055. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.028> [Acesso 10/12/2023]

Brandão Júnior, A. O. et al. (2007) "Desmatamento e estradas não-oficiais da Amazônia". *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. INPE, 21-26 Abril 2017. Leeds: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Brasil (2006) *Plano de Desenvolvimento Regional Sustentável para a Área de Influência da BR-163 (Cuiabá-Santarém)*. Brasília: Casa Civil da Presidência.

Cunningham, S. (2018) *Causal Inference: The Mixtape*. New Haven: Yale University Press.

Ecoplan Engenharia. (2002) *Relatório de Impacto Ambiental: Pavimentação BR163-230* [Online]. Disponível em: <https://ox.socioambiental.org/sites/default/files/ficha-tecnica//node/197/edit/2019-02/RIMA%20-%20FINAL%20%28BR-163%20PA%29.pdf> [Acesso 09/05/2020]

Gertler, P. J. et al. (2018) *Avaliação de impacto na prática*. 2nd ed: World Bank Publications.

Ho, D. E. et al. (2011) "MatchIt: Nonparametric Preprocessing for Parametric Causal Inference", *Journal of Statistical Software*, 42(8), pp. 1-37.

Ho, D. E. et al. (2011) MatchIt: Nonparametric Preprocessing for Parametric Causal Inference. *Journal of Statistical Software*. 42(8). <http://doi.org/10.18637/jss.v042.i08/>

Leão, A. S. R. (2017) *Na trilha da estrada: (des) caminhos do Plano BR-163 Sustentável como concepção para o desenvolvimento na Amazônia*. Tese de Doutorado thesis. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=5280729 [Acesso 11/12/2023].

Lima-Ribeiro, M. D. S. (2008) “Efeitos de borda sobre a vegetação e estruturação populacional em fragmentos de Cerradão no Sudoeste Goiano, Brasil.” *Acta Botanica Brasilica*. 22(2), pp. 535–545. <http://doi.org/10.1590/S0102-33062008000200020>

Margarit, E. (2013) “O processo de ocupação do espaço ao longo da BR-163: uma leitura a partir do planejamento regional estratégico da amazônia durante o governo militar,” *Geografia em Questão*, 6(1), pp. 12–31.

Ministério da Integração Nacional et al. (2004) *Plano de desenvolvimento regional sustentável da área de influência da Rodovia BR-163*. https://catalogo.ipea.gov.br/uploads/7_2.pdf [Acesso 10/05/2022]

Ministério do Meio Ambiente (2006) *Política Ambiental Integrada para o Desenvolvimento Sustentável: Relatório de Gestão 2003-2006*. Brasília: Governo Federal.

Ministério do Meio Ambiente (2006) *Política Ambiental Integrada para o Desenvolvimento Sustentável: Relatório de Gestão 2003-2006*. Brasília: Governo Federal.

Ministério do Meio Ambiente (2021) *Tabela de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento*.

<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/servicosambientais/control-de-desmatamento-e-incendios-florestais/pdf/Listagemmunicipiosprioritriosparaesdepreveno2021.pdf> [Acesso 10/05/2022]

Oliveira, A. S. et al. (2019) “Bringing economic development for whom? An exploratory study of the impact of the Inter-oceanic Highway on the livelihood of smallholders in the Amazon.” *Landscape and Urban Planning*. 188, pp. 171–179.

Pfaff, A. et al. (2009) “Road impacts in Brazilian Amazonia,” in Michael Keller et al. (eds.) *Geophysical Monograph Series*. Washington, D. C.: American Geophysical Union, pp. 101–116.

Spellerberg, I. F. (2014) *Ecological Effects of Roads*. Boca Raton: CRC Press.

Wickham, H. *et al.* (2021) *dplyr: A Grammar of Data Manipulation*. R package version 1.0.4 <https://CRAN.R-project.org/package=dplyr> [Acesso 09/01/2021]

Xingu+. (s.d.) *BR-163 - Trecho: Garantã Do Norte/Mt - Rurópolis/Pa.* <https://xingumais.org.br/obra/br-163-trecho-div-mtpa-santarem-pa> [Acesso 19/05/2021]

Zeileis, A. & Hothorn, T. (2002) "Diagnostic Checking in Regression Relationships." *The R Journal*. 2(3), pp. 7–10. <https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>

Zeileis, A. *et al.* (2020) "Various Versatile Variances: An Object-Oriented Implementation of Clustered Covariances" in *R. Journal of Statistical Software*, 95(1), pp.1-36. <http://www.jstatsoft.org/v95/i01/>