

A classificação de “fronteiras” como metodologia para o diagnóstico de relações espaciais locais do desmatamento nos municípios que compõem o DFS da BR163, PA

Renata Maciel Ribeiro¹
Silvana Amaral¹
Ana Paula Dal’Asta¹
Antônio Miguel Vieira Monteiro¹

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE¹
Caixa Postal 515, 12227-010, São José dos Campos, SP – Brasil
{renata, silvana, anapaula, miguel} @dpi.inpe.br

Resumo. O perfil socioeconômico e cultural da região amazônica é um fator determinante na composição dos padrões de ocupação do território amazônico, onde, a extensão da área e características geográficas decorrem em importantes diferenças intrarregionais. Com base em trabalhos que discutem a forte autocorrelação espacial do desmatamento, esta análise visa identificar as relações entre diferentes processos de desmatamento e o uso do solo, com base nas classes de fronteiras estabelecidas por Rodrigues et al. (2009) e o objetivo de identificar relações espaciais locais associadas aos usos proeminentes encontrados nas classes de fronteira. A análise adota como recorte espacial os municípios que compõem o Distrito Florestal Sustentável da BR-163, oeste paraense, obtendo como principal resultado a confirmação da capacidade das classes de fronteira, dentro da escala estabelecida, de representar componentes de dependência espacial associada aos seus usos. Sendo assim, a hipótese do trabalho é atestada e discute que a metodologia proposta por Rodrigues et al. (2009) quando avaliada no contexto da relação estabelecida pelos modelos lineares globais é capaz de representar como os principais fatores condicionantes do desmatamento se distribuem no espaço.

Palavras-chave: heterogeneidade espacial, regressão múltipla, desmatamento, uso da terra.

1. Introdução

Os processos de ocupação da Amazônia brasileira baseiam-se em diferentes causas, típicas do perfil econômico e cultural da região. Esse perfil caracteriza-se principalmente por um padrão econômico direcionado à exportação na lógica de uma economia voltada à valorização momentânea de produtos no mercado internacional (BECKER, 2001).

Até a década de 1980, o histórico do desmatamento da região da Amazônia Legal esteve ligado principalmente às ações governamentais para a ocupação e desenvolvimento do território, por intermédio da abertura de estradas e incentivo à migração (BECKER, 2005; FEARNSTIDE, 1986). Fatores condicionantes do desmatamento recentes, entretanto, apontam para as atividades agropecuárias que se expandem seguindo a lógica econômica privada (MARGULIS, 2003). Dado esse contexto, Richard e VanWey (2015) e Becker (2013) questionam o crescente interesse do mercado internacional na produção de *commodities* como um fator de remodelação do espaço rural, que por consequência, altera a organização das cidades. Por isso, o mercado internacional é apontado como a mais significativa força de conversão florestal na região amazônica.

Estas tendências se refletem nas características de ocupação do território amazônico onde a extensão da área e as características geográficas condicionam a diferenças intrarregionais significativas. Essas diferenças de ocupação tornam os processos de desmatamento fenômenos espacialmente heterogêneos (OLIVEIRA e ALMEIDA, 2011).

Uma maneira de representar a heterogeneidade do processo de ocupação do território é feita pela abordagem de fronteiras proposta por Rodrigues et al. (2009) e

discutida por Tritsch e Arvor (2016). Nesta abordagem, o desmatamento é representado por classes descritas de A a G, que representam a posição relativa do desmatamento em relação a duas variáveis: “extensão do desmatamento” e “atividade do desmatamento”. A primeira variável corresponde à porcentagem de área desmatada acumulada em relação à cobertura florestal em uma determinada unidade espacial, e a segunda, corresponde à porcentagem de área desmatada em três anos na mesma unidade (Tritsch e Arvor, 2016).

A diversidade de padrões e distribuição do desmatamento no território amazônico, leva ao questionamento sobre a eficácia de modelos que tratam do fenômeno de forma homogênea em toda sua vasta extensão territorial. Assim, alguns estudos enfocam na análise das relações espaciais em escala local, a partir de técnicas de regressão espacial, como o método GWR (Geographically Weighted Regression) ou RPG (Regressões Ponderadas Geograficamente). Neste método, desenvolvido por Fotheringham et al. (2002), a heterogeneidade espacial é tratada a partir de coeficientes de regressões locais, onde aplica-se regressões lineares para cada unidade espacial homogênea analisada (OLIVEIRA e ALMEIDA, 2011).

Aguiar et al. (2007) destacam uma alta autocorrelação espacial do desmatamento, resultante do processo de conversão florestal, com o uso posterior do solo, que por sua vez está associado aos tipos de uso em áreas adjacentes. Neste trabalho, a componente espacial será representada pelas classes de fronteira, que refletem a configuração no espaço dos padrões de desmatamento em agrupamentos indicativos de estágios fronteiriços semelhantes, podendo desta forma indicar a dependência espacial local do desmatamento.

Neste contexto, este trabalho busca identificar as relações entre diferentes padrões de desmatamento, representados pelos estágios de fronteira descritos por Rodrigues et al. (2009), e o uso do solo posterior, baseado na hipótese de que a classificação de fronteira é capaz de representar a autocorrelação espacial do desmatamento em relação aos seus principais usos, e com isso, servir como diagnóstico inicial para a aplicação de modelos de regressão baseados em coeficientes locais.

2. Metodologia

A análise da relação entre as classes de fronteira, estabelecidas através de metodologia proposta por Rodrigues et al. (2009), e uso do solo, foi realizada com base nos dados do Programa de Avaliação do Desflorestamento na Amazônia Legal - PRODES (INPE, 2010) no ano de 2010, e das classes redefinidas do mapeamento de uso e cobertura da terra do programa TerraClass (INPE, 2014) no ano de 2014, e produzidos a partir de técnicas de sensoriamento remoto, que têm contribuído muito para estudos de áreas extensas e complexas tais como a região amazônica brasileira (FROHN et al., 1996).

O objetivo específico é identificar associações entre os diferentes padrões de desmatamento em um dado período (2010) e os padrões de uso do solo em um tempo seguinte (2014) a fim de mapear a dependência espacial associada aos usos proeminentes encontrados nas classes de fronteira. Para tanto, propõe-se três etapas: a primeira referente a análise exploratória preliminar dos dados de desmatamento e uso e cobertura da terra para identificar os principais usos associados a cada estágio de fronteira. A segunda etapa referente à regressão linear múltipla das duas variáveis dependentes analisadas em função das classes de uso (variáveis explicativas). E, finalmente, a terceira etapa referente à análise dos resultados das duas primeiras etapas de modo a discutir a hipótese de dependência espacial local associada aos arranjos das classes de fronteira de desmatamento e usos associados.

2.1. Área de Estudo

O recorte espacial adotado compreende os municípios de Santarém, Mojuí dos Campos, Itaituba, Novo Progresso, Trairão, Placas, Rurópolis, Aveiro, Belterra e Altamira (Figura 1). Esses municípios fazem parte do Distrito Florestal Sustentável - DFS da BR-163, no oeste paraense. Apesar de Juruti, Prainha e Óbidos estarem no DFS BR-163, eles foram desconsiderados pela ausência de conhecimento de campo para em suas áreas.

O DFS (BR-163) foi criado como uma unidade geopolítica (MMA, 2016), mas apresenta distintas dinâmicas econômicas, demográficas e de uso da terra (ALVES et al., 2010), o que dificulta sua operacionalização como unidade de gestão territorial. São necessários estudos que identifiquem particularidades quanto sua caracterização socioeconômica e ambiental para análise dos diferentes padrões de conversão florestal (AMARAL et al., 2012).

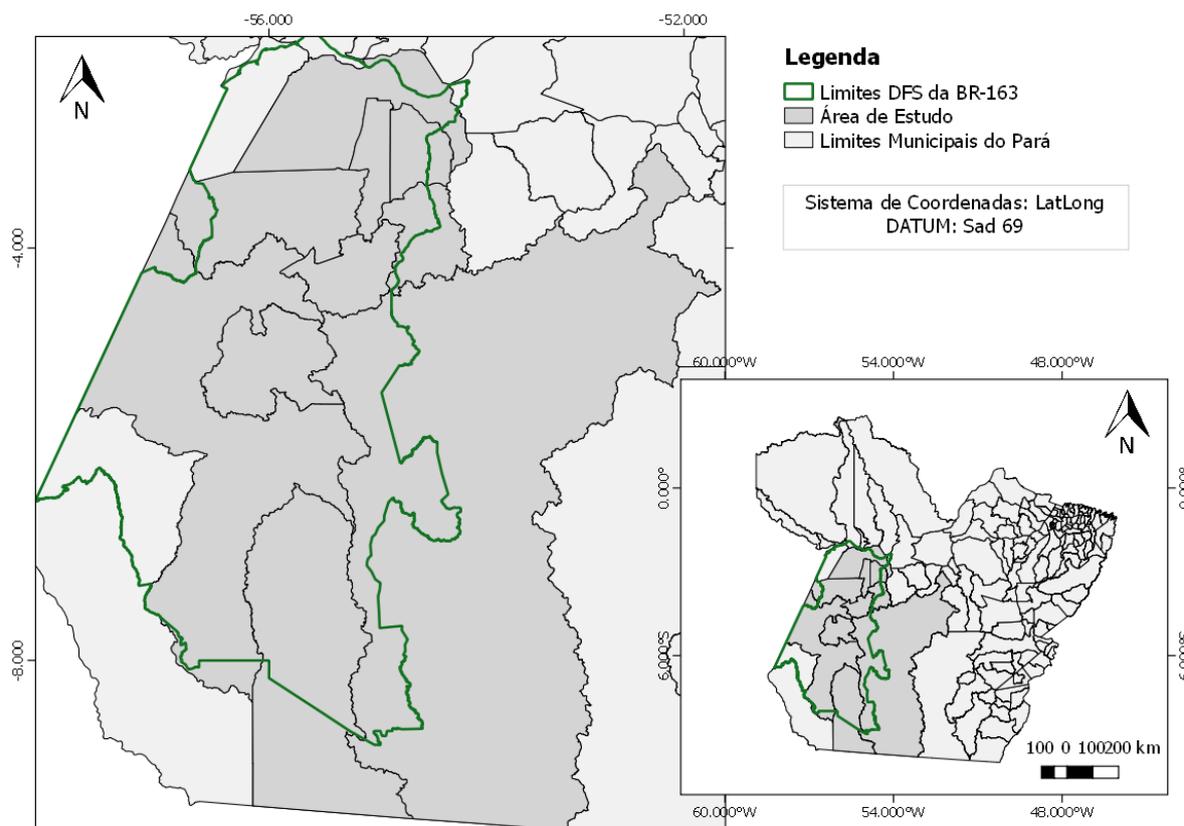


Figura 1. Localização da área de estudo no estado do Pará e no DFS da BR-163.

2.2. Organização da Base de dados

Para a análise de padrões de desmatamento e definição das classes de fronteira, foram utilizados dados de desmatamento do Projeto PRODES (INPE, 2010) para o estado do Pará, em 2010. O desmatamento na área de estudo, considerou as variáveis taxas de desmatamento anual (km^2/ano) e desmatamento acumulado de 1997 a 2010 e foram associados à malha municipal dos municípios de 2015 (IBGE, 2015).

Esses dados foram utilizados para gerar as variáveis das classes de fronteira, conforme descrito por Rodrigues (2009): a porcentagem de desmatamento acumulado até 2010 corresponde à variável “extensão do desmatamento”, e a porcentagem de área desmatada total entre os anos de 2008 e 2010 corresponde à variável “atividade do desmatamento”.

A partir destas variáveis, determina-se para cada unidade espacial a classe a que pertence, com base nos conceitos de pré e pós-fronteira discutidos por Tritsch e Arvor (2016), (Tabela 1).

Tabela 1. Descrição das classes de fronteira (adaptado de Tritsch e Arvor, 2016).

Classes	Característica	Descrição
A e B	Pré-Fronteira	Área desmatada limitada e baixa atividade de desmatamento.
C, D e E	Fronteira ativa	Área desmatada crescente e alta atividade de desmatamento.
G e F	Pós-Fronteira	Grande extensão de áreas desmatadas e baixa atividade de desmatamento.

A definição da tipologia das classes de fronteira limita-se ao recorte temporal estabelecido, ou seja, de 2008 a 2010. Por utilizar dados do PRODES, a definição de desmatamento adotada corresponde ao corte raso de floresta primária, e áreas de mapeamento apenas superiores a 6,25 ha.

Para a composição das variáveis explicativas da análise de regressão, usou-se os dados de mapeamento de uso e cobertura da terra do sistema TerraClass (INPE, 2014) para o ano de 2014. Algumas classes originais de uso e cobertura TerraClass foram reagrupadas para o objetivo de identificar as classes de uso relacionadas ao processo de desmatamento. As classes “pasto com solo exposto”, “pasto limpo”, “pasto sujo” e “regeneração com pasto” foram agrupadas em uma classe denominada “pastagem”, e, as classes referentes a “área não observada” e “outros” foram excluídas da análise por não contribuírem na interpretação dos dados. As classes “desmatamento”, “agricultura anual”, “área urbana”, “mineração”, “mosaico de ocupações”, “reflorestamento”, “vegetação secundária”, “floresta” e “não floresta” foram mantidas.

2.3.Procedimentos Metodológicos

A metodologia aplicada teve a finalidade de estabelecer as condições requeridas para a execução da regressão linear múltipla das duas variáveis dependentes com base no resumo metodológico descrito por Feitosa, 2014.

O plano celular foi gerado com base no limite do DFS (BR-163) (Figura 2) e resolução de 25 km² para preenchimento com os dados referentes às variáveis dependentes e explicativas.

As variáveis foram construídas através do uso de ferramentas de geoprocessamento do sistema TerraView 4.2 (INPE, 2013) e preenchimento de plano celular baseado em operadores de porcentagem de área por célula disponíveis no *software* GeoDMA (Geographical Data Minig Analyst) desenvolvido por Korting et al. (2008) (Figura 2).

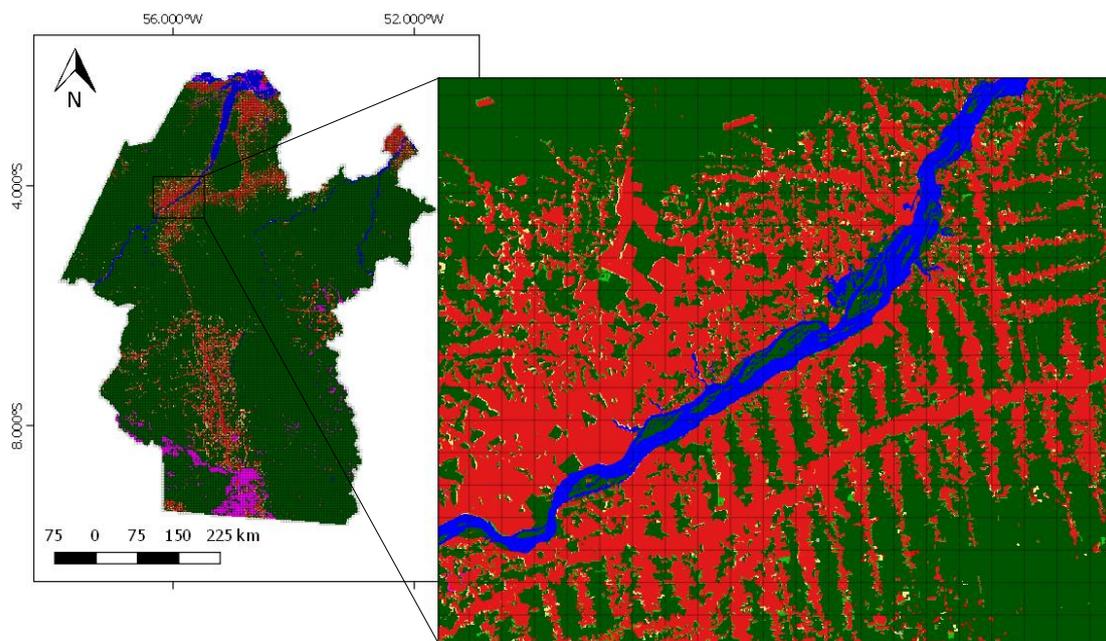


Figura 2. Mosaico de uso e cobertura da terra e desmatamento acumulado na área de estudo em plano celular de 25 km².

2.3.1. Preparação das Variáveis Dependentes

O processo de construção das variáveis dependentes gerou como resultado duas colunas na tabela de atributos do plano celular, a primeira referente a porcentagem de desmatamento acumulado na célula até o ano de 2010 e a segunda referente a porcentagem do total de desmatamento anual em 2008, 2009 e 2010 em cada célula.

O procedimento e critérios de decisão para definição das classes fronteiriças foram realizados com base na metodologia de Rodrigues et al. (2009) (Tabela 2).

Tabela 2. Critérios de classificação de fronteiras (baseado em Rodrigues et al., 2009).

Classes	Extensão do Desmatamento (%) – acumulado em 2010	Atividade de Desmatamento (%) – total em 3 anos (2008, 2009 e 2010)
A	< 5	< 0,5
B	< 25	0,5 – 5
C	< 40	≥ 5
D	40 – 60	≥ 5
E	≥ 60	≥ 5
F	≥ 75	0,5 – 5
G	≥ 90	< 0,5

A análise do mapa resultante (Figura 4) permite identificar a predominância da classe A sobre as outras, esta, representativa de áreas pouco desmatadas e com baixa atividade de conversão florestal. As classes pós-fronteira (F e G) e de fronteiras ativas (C, D e E) apresentaram agrupamentos, mostrando tendência à autocorrelação espacial das classes e seus usos que será verificada na análise dos resíduos da regressão.

É possível verificar também um significativo número de células não classificadas, onde Tritsch e Arvor (2016) explicam como sendo uma falha metodológica, de forma que

a classificação de fronteiras proposta por Rodrigues et al. (2009) se mostra não inclusiva, onde células com grau moderado de extensão e baixa atividade de desmatamento não são classificadas (Figura 4).

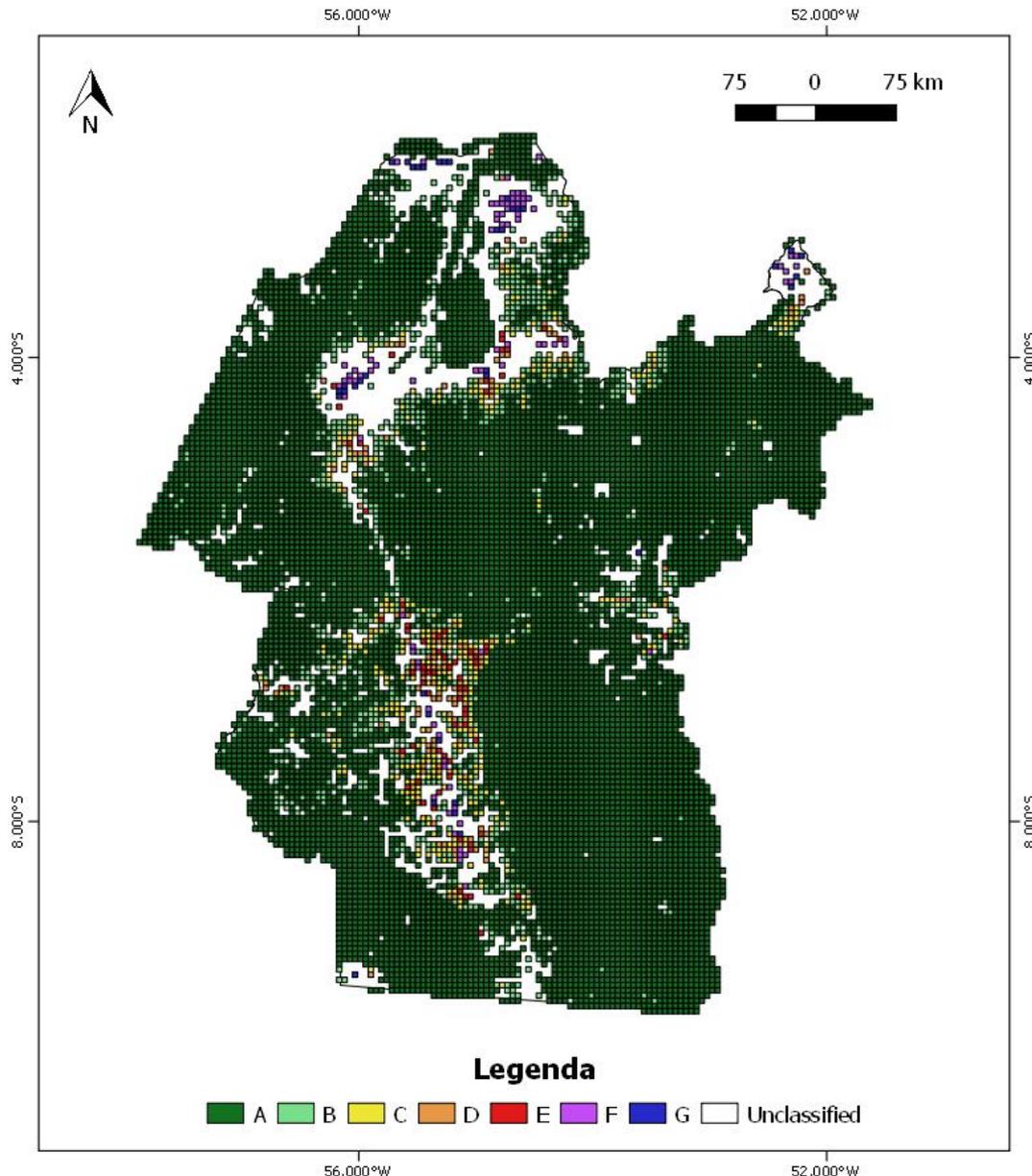


Figura 4. Representação da espacialização do desmatamento através da projeção das classes de fronteira na grade celular da área de estudo.

2.3.2. Análise Exploratória e Preparação das Variáveis

Através do plug-in de preenchimento do plano celular foi possível construir as variáveis dependentes e independentes em uma única tabela. Para a escolha das variáveis explicativas mais significativas para os modelos, foi realizada a análise exploratória das variáveis através da técnica *stepwise backward* com base na significância do teste F (5%). O conjunto inicial com todas as variáveis independentes era composto por todas as classes de uso e cobertura mapeadas pelo Terraclass, no qual as menos significativas (p -valor > 0.05) foram retiradas do modelo.

A sumarização dos dados, fontes, significado de cada classe dentro da tipologia adotada pelo Terraclass e as variáveis significativas resultantes da etapa de análise exploratória são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Variáveis dependentes e independentes selecionadas na análise exploratória e descrição (baseado em EMBRAPA, 2008).

Variável	Descrição	Sinal Esperado β_1	Fonte
Floresta	Área de floresta primária não alterada.	Negativo	
Hidrografia	Malha hidrográfica.	Negativo ou Nulo	
Não Floresta	Áreas com presença de formação florestal diferenciada dos padrões fitofisionômicos do bioma amazônico.	Negativo	
Vegetação Secundária	Áreas que, após a supressão total da vegetação florestal, encontram-se em processo avançado de regeneração da vegetação arbustiva e/ou arbórea ou que foram utilizadas para a prática de silvicultura ou agricultura permanente com uso de espécies nativas ou exóticas.	Positivo	Programa Terraclass (INPE, 2014)
Área Urbana	Manchas urbanas decorrentes da concentração populacional que apresentam infraestrutura diferenciada da área rural apresentando adensamento de arruamentos, casas, prédios e outros equipamentos públicos.	Positivo	
Agricultura Anual	Áreas extensas com predomínio de culturas de ciclo anual.	Positivo	
Pastagem	Abrange áreas em início de processo de regeneração, áreas de pastagem em processo produtivo com predomínio de gramíneas e associadas a vegetação arbustiva e áreas com atividade agropastoril e cobertura de solo exposto.	Positivo	
Desmatamento Acumulado	Porcentagem de desmatamento acumulado por célula.	-	PRODES (INPE, 2010)
Estágio de Fronteira	Variável composta da relação entre a porcentagem de desmatamento acumulado na célula e porcentagem de desmatamento total em três anos.	-	

A fase de análise exploratória das variáveis possibilitou também a identificação dos usos predominantes na composição das classes de fronteira. Através da plotagem da dispersão das variáveis explicativas (porcentagem de área de cada classe por célula) para cada classe de fronteira, pôde-se identificar que as classes A e B são compostas prioritariamente por floresta, enquanto as classes C e D são compostas por tipos de pastagem e floresta. As classes E e F são compostas, principalmente, por tipos de pastagem e a classe G composta por pastagem e vegetação secundária, visto se tratar de uma classe de pós-fronteira caracterizada por ser altamente desmatada e com baixa atividade de desmatamento, abrangendo áreas abandonadas como pertencentes a esta classe.

A análise de dispersão das variáveis explicativas em função dos estágios de fronteira foi importante para que fosse possível identificar os usos predominantes de cada classe e de que forma as configurações de fronteiras encontradas (Figura 4) foram

influenciadas pelos usos que compõem as classes, possíveis de serem detectados na escala do plano celular (25 km²).

2.3.3. Modelo de Regressão Linear Global Múltipla

O modelo de regressão linear simples tem como objetivo prever a relação linear entre a variável dependente e a variável explicativa (STEVENSON, 1986), (Equação 1).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_i + \varepsilon \quad (1)$$

Onde, Y_i é a i -ésima observação da variável dependente, X_i é a i -ésima observação da variável independente, os parâmetros β_0 e β_1 representam respectivamente o intercepto e a inclinação da reta, e a constante ε representa resíduos da estimativa (NETER et al., 1996).

Os modelos de regressão linear múltipla seguem os mesmos pressupostos dos modelos simples, porém, possuem mais de uma variável explicativa.

Nos modelos lineares globais assume-se que as observações não são correlacionadas, e que os resíduos do modelo também são independentes e não correlacionados, além de apresentar variância constante e distribuição normal com média zero (RODRIGUES, 2012; MAROCO, 2003).

Por meio da análise dos resíduos é possível observar se o modelo de regressão linear satisfaz os seus pressupostos, como, por exemplo, a premissa da independência dos resíduos, que é analisada através do gráfico de dispersão dos resíduos contra as variáveis predictoras. No caso da constatação de tendências nos dados, que pode indicar a presença de dependência espacial entre as variáveis, o pressuposto de independência não é satisfeito (FEITOSA, 2014), logo, deve ser realizado o cálculo de índice de Moran I para os resíduos a fim de avaliar o grau de autocorrelação espacial.

O índice de Moran quantifica o grau de autocorrelação espacial e seus valores variam de -1 a +1, onde -1 indica autocorrelação inversa, 0 indica aleatoriedade e +1 autocorrelação positiva (CÂMARA et al., 2001).

3. Resultados e Discussões

Os resultados das regressões múltiplas possibilitaram a avaliação dos pressupostos de linearidade dos modelos de coeficientes globais, cuja multicolineariedade foi avaliada através do VIF (Índice de Variância Inflado). A normalidade, homocedasticidade e independência foram avaliadas através de testes estatísticos e análise dos resíduos.

Para as variáveis escolhidas na análise exploratória obteve-se como resultado que não há redundância entre as variáveis avaliadas a partir do valor de VIF, onde todas obtiveram valores menores que 7.5 e com isso contribuem de forma independente na regressão (FEITOSA, 2014).

Para os testes Jaque-Bera e Koenker-Passet, os resultados foram significativos a 95% de confiança, atestando que os dados não possuem distribuição normal e variância constante. Esses resultados podem indicar que os dados não são paramétricos, necessitando de tratamento da não-linearidade das variáveis.

No entanto, na análise do histograma dos resíduos, pôde-se identificar a normalidade do modelo, contraponto os resultados obtidos nos testes estatísticos (Figura 6).

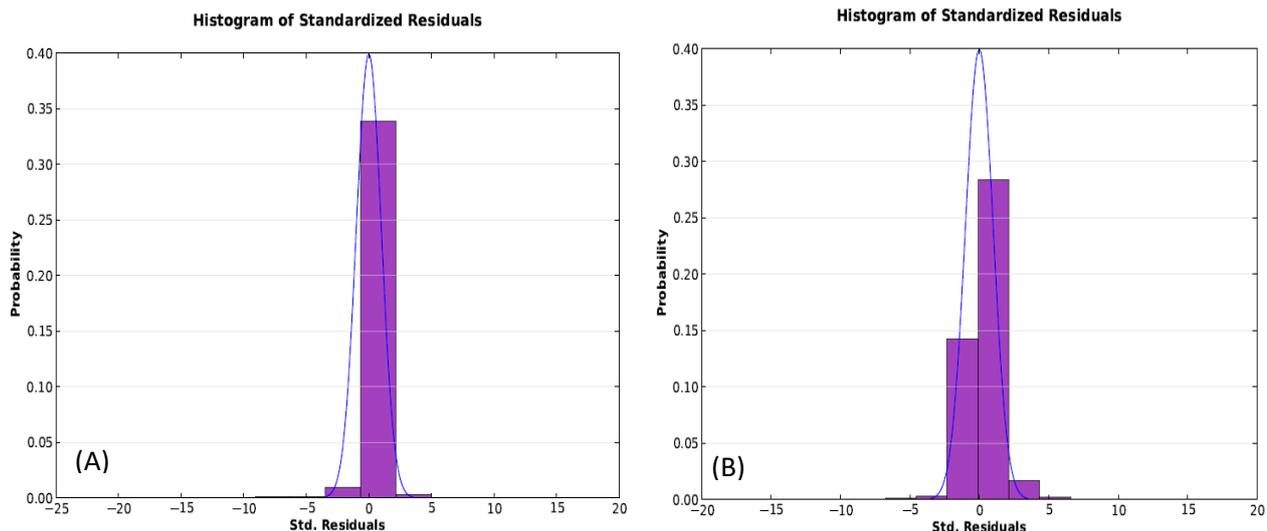


Figura 6. Histograma da análise de normalidade dos resíduos. (A) Y – desmatamento acumulado (B) Y – gradiente de conversão florestal (fronteiras)

O histograma dos resíduos (Figura 6) apresenta um formato próximo a uma normal (gaussiana) e com isso considera-se que os resultados da análise são consistentes no que tange ao pressuposto de normalidade dos modelos lineares.

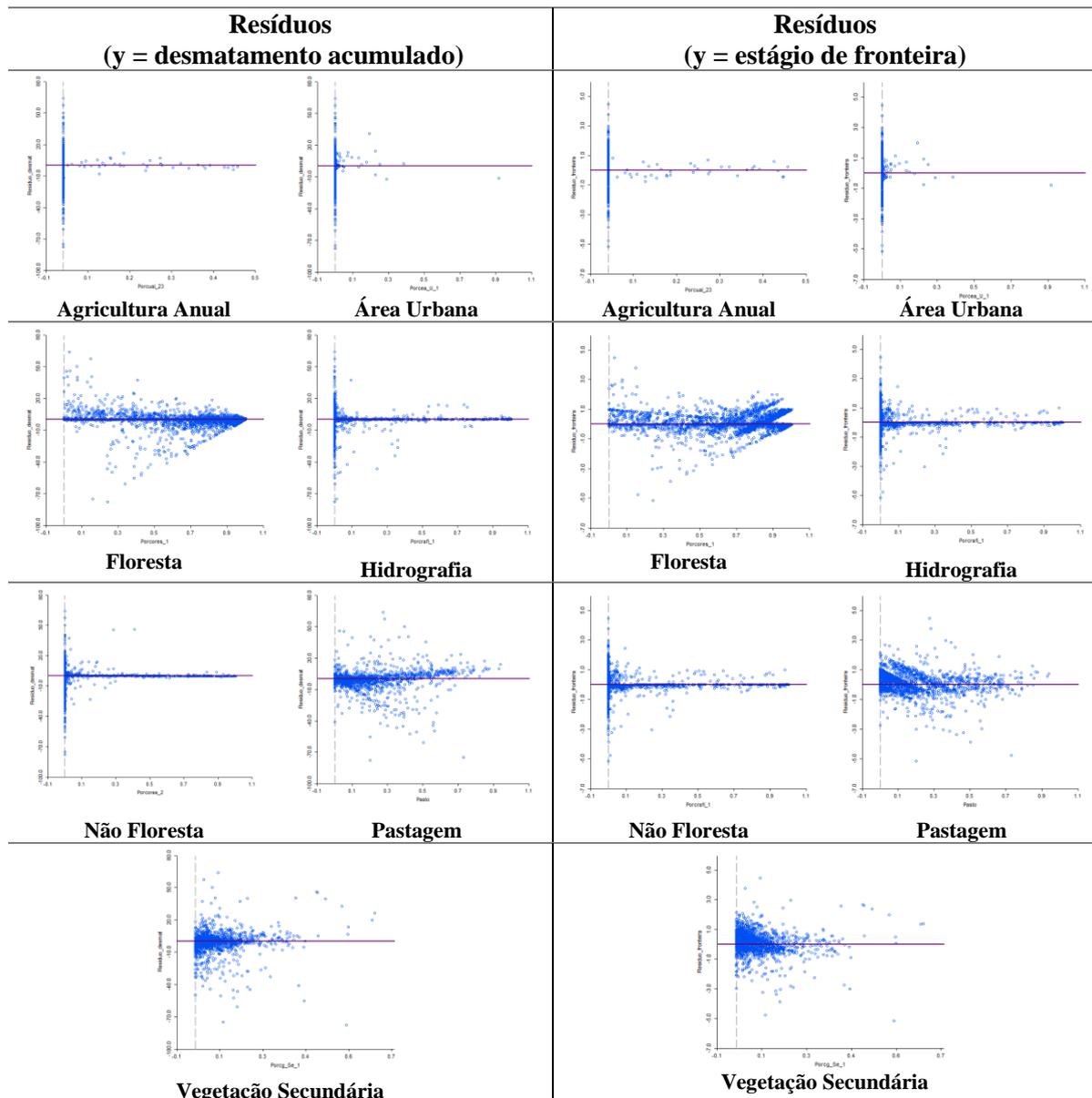
As variáveis explicativas apresentaram concentração de dados e alto número de amostras, o que pode ter sido um fator limitante para a rejeição de H_0 nos testes de normalidade e heterocedasticidade (Jaque-Bera e Koenker), contudo a análise dos resíduos permite a continuação da análise por apresentar características de linearidade.

De acordo com Laplace (1810), o Teorema do Limite Central também corrobora para a credibilidade dos resultados das regressões, visto que, segundo este teorema, tratando-se de variáveis aleatórias com média e variância finitas, à medida que o n (número de amostras) aumenta, a soma das variáveis se aproxima a uma distribuição normal.

A ideia básica da análise dos resíduos é que, se o modelo for apropriado, os resíduos devem refletir as propriedades impostas pelo termo de erro do modelo. Na análise dos gráficos de dispersão dos resíduos com cada variável foi possível visualizar que muitas variáveis apresentaram dispersão ajustada próxima a 0 (zero), o que significa que possuem variância constante e distribuição aleatória, comprovando a homocedasticidade e independência do conjunto amostral.

Com isso, pôde-se verificar que as análises de resíduos do modelo satisfazem os pressupostos de linearidade e apresentaram um bom ajuste, ou poder explicativo, da maioria das variáveis independentes em relação às variáveis dependentes (Tabela 4).

Tabela 4. Diagrama de dispersão dos resíduos das regressões.

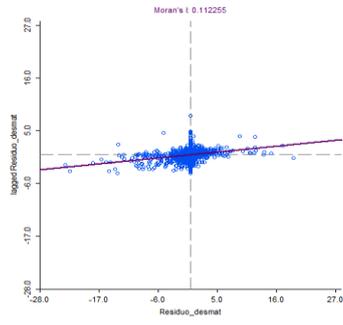
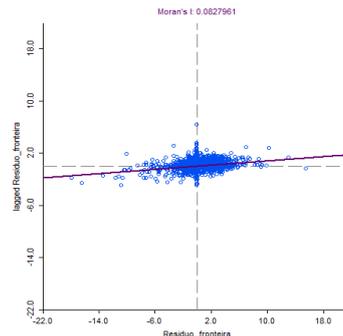


Contudo, os gráficos de algumas variáveis apresentaram tendência na dispersão dos resíduos, tais como as classes referentes a “floresta”, “vegetação secundária” e “pasto”. Esse padrão não aleatório de dispersão indica possível dependência espacial. Para tal, aplicou-se o teste de Moran I aos resíduos com o objetivo de avaliar a existência de dependência espacial no conjunto de dados.

O índice de Moran é obtido através de um teste estatístico de normalidade em que a hipótese nula é de independência espacial ($I = 0$) contra a hipótese alternativa, onde há dependência espacial ($I \neq 0$) (SILVA et al., 2010).

Os resíduos do modelo de regressão foram analisados quanto à autocorrelação espacial por meio do teste de Moran e os resultados obtidos são descritos na Tabela 5.

Tabela 4. Resultados do ajuste das regressões e análise da dependência espacial global.

Resultados da Regressão	Scatter plot Moran's I
<p>Y = desmatamento acumulado</p> <p>R² = 0.91 Akaike = 72753.3 Moran = 0.11 p-valor = 0.0</p>	
<p>Y = estágios de fronteira</p> <p>R² = 0.88 Akaike = 4946.96 Moran = 0.08 p-valor = 0.0</p>	

O teste de Moran I aceitou a hipótese nula entre as variáveis do modelo e com isso conclui-se que é necessário utilizar técnicas de estatística espacial para correção da dependência espacial entre os dados do modelo proposto.

Contudo, apesar do teste ter apresentado a existência de correlação espacial, o valor foi menor do que o esperado. Esse resultado pode ser justificado devido aos problemas de ajuste de linearidade dos dados, onde os gráficos de dispersão demonstraram a possível dependência espacial de algumas variáveis presentes no modelo. Nestas situações os fenômenos podem apresentar respostas diferentes conforme a região estudada e as relações podem variar através do espaço.

O termo heterogeneidade espacial, tratado como característico de fenômenos como o desmatamento, diz respeito às variações nas relações entre as variáveis ao longo do espaço. Essas diferentes relações são expressas por diferentes coeficientes de regressão ajustados para cada ponto no conjunto de dados, ponderando as observações em razão da distância a este ponto (CARVALHO et al., 2006).

A partir dos resultados observados, pôde-se verificar que as classes de “floresta”, “pasto” e “vegetação secundária” apresentaram dispersão não-linear no diagrama de análise dos resíduos (Tabela 4), isso demonstra uma possível dependência espacial associada às classes de fronteira, visto que, na análise exploratória dos dados, essas classes de uso foram identificadas como as mais significantes na composição das áreas classificadas pela metodologia de fronteiras.

Para a análise da dependência espacial detectada aplicou-se o índice de autocorrelação sobre as variáveis que apresentaram dispersão não-linear no gráfico de resíduos a fim de visualizar o nível de autocorrelação espacial dessas variáveis em relação às classes de fronteira como mais um subsídio a constatação da necessidade de tratamento da heterogeneidade espacial através de modelos de coeficientes locais e sinalização da metodologia das classes de fronteira como um meio para detecção de relações espaciais locais (Tabela 6).

Tabela 6. Regressão linear aplicada às variáveis que apresentaram diagnóstico de dependência espacial.

Variável	Regressão Simples
Floresta	$R^2 = 0.032$ Moran = 0.19 (p-valor < 0.05)
Pastagem	$R^2 = 0.62$ Moran = 0.14 (p-valor < 0.05)
Vegetação Secundária	$R^2 = 0.46$ Moran = 0.18 (p-valor < 0.05)

As três variáveis apresentaram dependência espacial positiva, conforme o esperado. Desta forma, foi possível certificar a influência das três classes de uso na composição das classes de fronteira na área de estudo.

A partir da compilação e análise dos resultados obtidos nas três etapas do trabalho, pôde-se identificar que a não-estacionariedade observada no gráfico de dispersão dos resíduos em relação às variáveis explicativas viabilizou a visualização da dependência espacial no modelo. As variáveis que apresentaram dispersão de resíduos não-lineares condisseram com as classes de uso mapeadas na análise exploratória como as mais significativas na composição das classes de fronteira.

Sendo assim, os resultados alcançados indicam a presença de autocorrelação espacial localizada devido às configurações das células classificadas a partir da abordagem de fronteiras e composição das classes predominantemente relacionada a usos que apresentaram diagnóstico de dependência espacial, mostrando que a classificação de fronteiras pode ser uma forma de mapear dependência espacial local, visto que ela resultou em aglomerados de células de classes de fronteira com estágio e composição de uso semelhantes.

4. Considerações Finais

Baseado nos resultados obtidos, é possível observar que a análise comparativa entre as duas regressões permite identificar as classes de fronteira como um possível método para tratamento da dependência espacial. Contudo, para a validação da hipótese faz-se necessário o estudo das falhas metodológicas associadas à abordagem, para que então as células que se encaixam nos limiares não contemplados pelo método e por consequência não classificadas sejam consideradas e possa-se obter resultados mais confiáveis.

A ligeira diferença entre os índices de autocorrelação espacial encontrados entre as regressões não dispensa a aplicação de modelos espaciais capazes de considerar a relação existente entre os fenômenos mapeados e seu diversificado comportamento no espaço.

Com isso, sugere-se que trabalhos posteriores sejam realizados levando-se em consideração os arranjos de relação espacial localizada a partir de técnicas que se utilizem de coeficientes locais a fim de conseguir modelar de forma mais eficiente a heterogeneidade associada a fenômenos, tais como o desmatamento e uso do solo subsequente.

Agradecimentos

Dedica-se sinceros agradecimentos aos amigos Celso Junior, Lidiane Costa, Catherine Almeida, Camile Sothe e Vinicius Capanema por dedicarem seu tempo em ajudar, tirar dúvidas e enriquecer o trabalho.

Referências Bibliográficas

- AGUIAR, A.P.; CÂMARA, G.; ESCADA, M.I.S. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity. **Ecological Modelling**, 209, p.169-188, 2007.
- ALVES, P. A.; AMARAL, S.; ESCADA, M. I. S.; MONTEIRO, A. M. V. Explorando as relações entre a dinâmica demográfica, estrutura econômica e no uso e cobertura da terra no sul do Pará: lições para o Distrito Florestal Sustentável da BR-163. **Geografia**, v. 35, n. 1, p. 165 - 182, 2010.
- AMARAL, S.; GAVLAK, A. A.; ESCADA, M. I. S.; MONTEIRO, A. M. V. How remote sensing data, spatial analysis methodologies and census tract data can improve the representation of spatial distribution of population for environmental related studies: the cases of Marabá and the Sustainable Forest District-BR163, Pará, Brazilian Amazon. **Population & Environment**, 2012.
- BECKER, B. K. **A Urbe Amazônica**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2013.
- BECKER, B. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários? **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. 12, n. 1, p. 135-159, set. 2001.
- BECKER, B.K. **Geopolítica da Amazônia**. Estudos Avançados, 19 (53), 2005.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO A. M.; SPOSATI, A.; ROMAN, R.; KOGA, D.; AGUIAR, A.P.D de Territórios Digitais: As Novas Fronteiras do Brasil. **Seminário Temático Preparatório para a 3ª CNCTI**. Brasília, 2005.
- CAMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; CARVALHO, M. S.; FUKS, S. D. **Análise espacial de dados geográficos**. São José dos Campos: INPE, 2001. 209p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/index.html>. Acesso em 20 nov. 2016.
- CARVALHO, L. E. X.; SILVA, H. N.; LOUREIRO, C. F. G.; MENEZES, H. B. Regressão Linear Graficamente Ponderada em ambiente SIG. **Transportes**, Volume XIV, nº 2: 18-26, 2006.
- FEARNSIDE, P. M. Human carrying capacity of the brazilian rainforest. **Columbia University Press**. New York, 1986.
- FEITOSA, F. **Regressão Múltipla**. Aula. UFABC, 2014.
- FOTHERINGHAM, A.S.; BRUNSDON, C.; CHARLTON, M. **Geographically Weighted Regression: the analysis of spatially varying relationships**. John Wiley and Sons, 2002.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Municipal 2015**. Disponível em < http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>. Acesso em 14 de novembro de 2016.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **PRODES 2010**. Disponível em < <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acesso em 14 de novembro de 2016.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **TerraClass 2014**. Disponível em < http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/dados_terraclass.php>. Acesso em 14 de novembro de 2016.
- KORTING, T. et al. **GeoDMA** (Geographical Data Minig Analyst), INPE, 2008.
- LAPLACE, P. S (1810). M´emoire sur les int´egrales d´efinies et leur application aux probabilit´es, **Mem. Acad. Roy. Sci**, p. 357-360.
- MARGULIS, S. Causas do desmatamento da Amazônia brasileira. **Banco Mundial**, 2003.
- MAROCO, J. **Análise Estatística** – Com utilização do SPSS, 2ª edição; Edições Sílabo; 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Projeto DFS da BR 163**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/florestas/projeto-br-163>. Acesso em 21 de novembro de 2016.

NETER, J.; KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C. J. e WASSERMAN, W. (1996). **Applied Linear Regression Models**, 3rd Edition. Irwin, Illinois.

OLIVEIRA, R. C.; ALMEIDA, E. S. Deforestation in the Brazilian Amazonia and Spatial Heterogeneity: A Local Environmental Kuznets Curve Approach. **UFJF**, 2011.

RICHARDS, P.; VANWEY, L. Where Deforestation Leads to Urbanization: How Resource Extraction Is Leading to Urban Growth in the Brazilian Amazon. *Annals of the Association of American Geographers*. University of California. San Diego, 2015.

RODRIGUES, A. S. L.; EWERS, R. M.; PARRY, L.; SOUZA, C.; VERÍSSIMO, A.; BALMFORD, A. Boom-and-Bust Development Patterns Across the Amazon Deforestation Frontier. **Science**, 2009.

RODRIGUES, S. C. A. Modelo de Regressão Linear e Suas Aplicações. **Relatório de Estágio para Obtenção do Grau de Mestre**. Universidade da Beira Interior. Covilhã, 2012.

SILVA, A. E. P., MUSSIO, F. B., PEREIRA, F. O., ANGELO, J. R., LOURENÇO, L. A. E., DEUS, L. R., CURTARELLI, M. P., ANAZAWA, T. M., SOUZA, U. D. V., MUÑOZ, V. A., **Tutorial De Análise De Regressão Espacial Utilizando Os Aplicativos Terraview e R**, INPE, 2010.

STEVENSON, W. J. (1986). **Estatística aplicada à administração**. São Paulo: Harbra, p. 341.

TRITSCH, I.; ARVOR, D. Transition in environmental governance in the Brazilian Amazon: emergence of a new pattern of socio-economic development and deforestation. **Land Use Policy**, 2016.