

Uso de técnicas de agrupamento e regressão para o estudo da degradação florestal no estado do Pará

Afonso Henrique Moraes Oliveira ¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil

afonso.oliveira@ inpe.br

Abstrac. A degradação florestal no estado do Pará vem ocorrendo de forma acentuada, apesar da redução significativa na taxa do desmatamento na última década. A degradação envolve um processo dinâmico de mudança de uso e cobertura da terra onde as florestas passam por períodos de distúrbios segundo diferentes escalas espaciais e temporais. Nesse sentido, técnicas de regressão podem auxiliar no entendimento da relação entre as variáveis envolvidas. Estradas e focos de calor apresentaram as maiores relações com a degradação na maioria das áreas, sugerindo se tratar das variáveis mais relacionadas com a degradação em todas as regiões do estado do Pará, porém que podem ser diferentes nas diferentes fronteiras da região.

Palavras chave: heterogeneidade da degradação, regressão espacial, exploração de madeira.

1. Introdução

A Amazônia brasileira passou por diversas fases de ocupação do território. Inicialmente produzindo baixos impactos no meio ambiente, representado principalmente pela extração de produtos oriundos das florestas pelos nativos, e mais recentemente, a partir da década de 60, com incentivos de produção e colonização subsidiados pelo governo, bem como adventos tecnológicos, a ocupação do território Amazônico se deu de forma desordenada e totalmente heterogênea (PRATES, 2008).

Em função do modelo de desenvolvimento empregado para região, pautado principalmente no crescimento a qualquer custo, as atividades produtivas vieram acompanhadas de elevadas taxas de desmatamento, assim como degradação florestal. No caso de degradação, objetivo deste trabalho, tal atividade está relacionada principalmente às atividades de exploração ilegal de madeira e incêndios florestais (BARROS; UHL, 1995).

Como no passado não havia vias de transporte tão estruturadas como hoje, as atividades de exploração madeireira estavam sempre restrita às florestas próximas aos corpos d'água. Nesse período da história, as atividades eram extremamente seletivas, de baixa intensidade e poucas espécies eram exploradas (BARROS;UHL, 1995; VERÍSSIMO et al., 1992).

Com a construção e pavimentação das estradas oficiais, a exploração de madeira começou a ser realizada às margens das rodovias, o que possibilitou o acesso a madeiras de elevado valor comercial e fácil acesso, isso associado ao baixo custo do produto, uma vez que não haviam precedentes para a exploração do recurso e não existia restrição ambiental, tão pouco fundiária (BARROS; UHL, 1995).

Desta forma, empresas madeireiras foram sendo criadas e se aglomerando próximo aos grandes centros urbanos as margens das rodovias, onde havia concentração de serviços, mão de obra e infraestrutura, tais como a BR-163(Cuiabá-Santarém), que liga o estado do Mato Grosso ao estado do Pará, e a BR-230 (Transamazônica), que corta o região Norte no sentido Leste-Oeste.

A prática cultural do uso do fogo na região é recorrente e também acaba contribuindo sobre maneira no problema da degradação florestal. Na Amazônia, o fogo pode ser classificado em quatro grupos principais: a) fogo de desmatamento (fogo intencional usado para facilitar a limpeza da área para conversão da floresta em cultivo e pastagem nos estágios iniciais de ocupação da fronteira e desmatamento, b) fogo de manutenção (fogo intencional usado no manejo de pastagens e na limpeza de sobras residuais da colheita), c) fogo acidental (que foge ao controle a partir de queimadas intencionais associadas à manutenção ou conversão de áreas vizinhas) e d) fogo natural (causado por descargas elétricas, relâmpagos). (NEPSTAD et al., 1999; SCHROEDER et al., 2009).

Vários podem ser os fatores relacionados ao processo de degradação florestal na Amazônia. Laurence et al., (2004), discutem que a construção e pavimentação de estradas, bem como a melhoria da infraestrutura local, podem ser apontados como fatores determinantes para esse processo. Outros estudos voltados para a relação de força entre as variáveis também já foram estudados no sentido de buscar entender como as diferentes forçantes podem se relacionar, no esforço de tentar modelar tais processos e encontrar possíveis explicações de forma sistemática e concisa (AGUIAR et al., 2007).

Os impactos da antropização no bioma amazônico são amplamente discutidos no meio acadêmico, principalmente devido às alterações causadas à floresta, como a perda de biomassa e biodiversidade, e também a alteração nos ciclos biogeoquímicos (PEARSON, et al 2014). Estes impactos motivaram a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudanças climáticas a reconhecer, na 13ª Conferência das Partes, em 2007, a exploração seletiva de madeira como um importante contribuinte para as emissões globais de carbono, passando a introduzi-la no mecanismo de Redução de Emissão por Desmatamento e Degradação Florestal (REDD) (SHIMABUKURO, et al 2014). No mesmo ano, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) passa a realizar o monitoramento na Floresta Amazônica brasileira de áreas em processo de degradação, onde a cobertura florestal ainda não tenha sido totalmente removida, através do sistema DEGRAD.

Para situações específicas, através de parceria entre o INPE e o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e o Serviço Florestal Brasileiro (SFB) foi criado o sistema DETEX para o monitoramento da exploração madeireira em florestas públicas sob concessão florestal, que posteriormente foi expandido a toda a Floresta Amazônica brasileira, com dados produzidos a partir de 2009.

Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), entre os anos de 2007 e 2013, a área degradada na Amazônia foi de 76 mil km², 26% a mais do que a área mapeada como desmatamento por corte raso do PRODES, para o mesmo período (INPE, 2015).

Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de modelos de regressão linear e espacial para identificar fatores determinantes que mais influenciam o processo de degradação florestal em diferentes recortes no estado do Pará, utilizando dados dos sistemas de monitoramento DEGRAD e DETEX para os anos de 2010 e 2014.

Duas perguntas básicas nortearam esse estudo:

- 1- Quais são os potenciais fatores determinantes do processo de degradação florestal no estado do Pará?**
- 2- Tais fatores são iguais entre diferentes divisões no espaço e no tempo?**

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

A vegetação natural do estado do Pará é caracterizada predominantemente pela formação Floresta Ombrófila Densa, com árvores que podem atingir 50m de altura e biomassa média de 281 Mg ha⁻¹, podendo ser encontradas, em menor proporção, savanas amazônicas (VIEIRA et al., 2004). Em termos geológicos predominam as unidades litológicas do proterozóico, caracterizado por terrenos irregulares (VASQUEZ, 2008). O clima é quente e úmido, com precipitação anual variando entre 1800 a 2800 mm, e estações definidas como chuvosa (janeiro a julho) e seca (agosto a dezembro). A área ainda se apresenta bastante preservada, com terras indígenas e unidades de conservação contemplando cerca de 70% da área. A região também está sob forte influência da BR-163 (Santarém-Cuiabá) que liga o estado do Pará ao estado do Mato Grosso, de da BR-230 (Transamazônica).

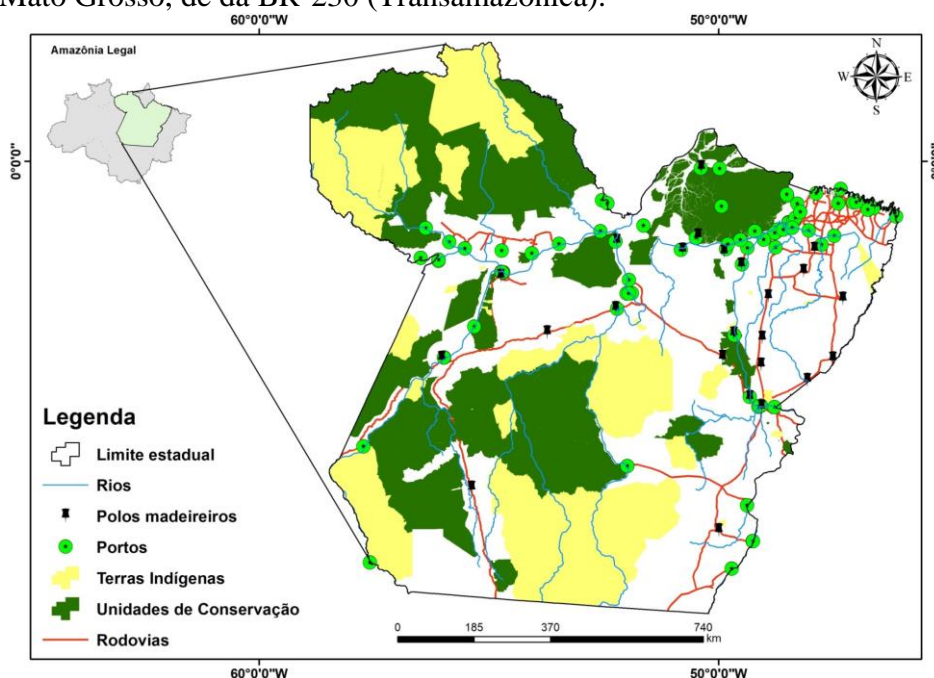


Figura 1. Mapa de localização do estado do Pará.

2.2 Os sistemas de monitoramento DETEX e DEGRAD

O trabalho utilizou os dados DETEX e DEGRAD produzidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados são produzidos anualmente a partir de processamento de imagens de sensores a bordo dos satélites LANDSAT e CBERS cuja resolução espacial é de 30 metros e são apresentados como polígonos que representam as áreas com distúrbios florestais em que a cobertura florestal ainda não foi totalmente removida. O mapeamento é visual, feito com imagens orbitais do mês de agosto de cada ano com a mesma base de imagens utilizada pelo programa PRODES (INPE) que identifica áreas desmatadas. Porém é realizado um preparo dessas imagens aplicando realces de contraste para destacar evidências da degradação, tais como porções de solos exposto, estradas e pátios de extração de madeira (INPE, 2017).

Os dados DETEX representam as áreas com atividades de exploração seletiva de madeira em áreas de manejo florestal, e os dados DEGRAD representam área com floresta degradada.

A área mínima mapeada de ambos os sistemas de monitoramento da Amazônia é de 6,25 hectares (INPE, 2017). No presente trabalho, utilizou-se dados DETEX e DEGRAD para o período de 2009 até 2015.

Ambos dos dados foram unidos no sentido de representar toda alteração detectada pelos sistemas entre 2010 a 2014, e integrados em um espaço celular de 5x5 km², conforme pode ser visualizado no fluxograma abaixo. (Figura 2).

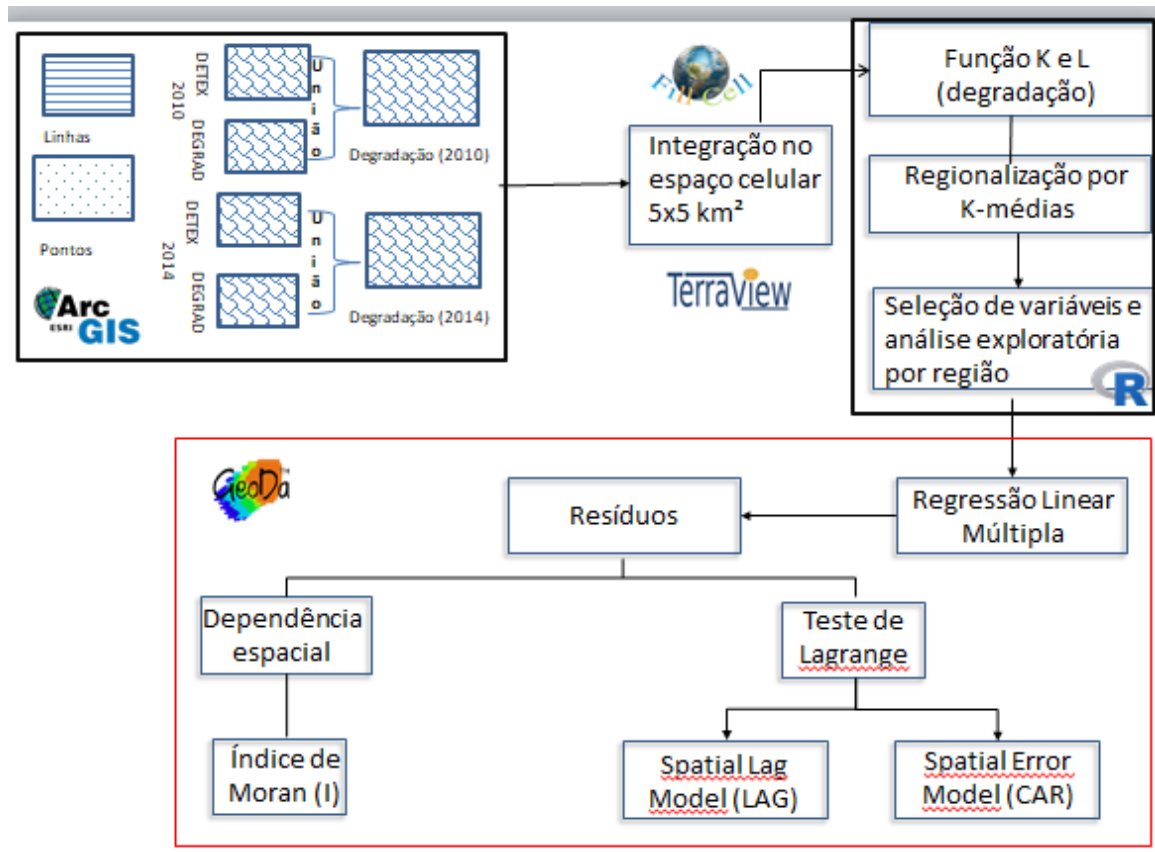


Figura 2. Fluxograma das atividades desenvolvidas para a elaboração do trabalho.

2.3 Variáveis analisadas

Foram selecionadas 10 variáveis independentes, sendo 3 relacionadas com as políticas de preservação na biodiversidade e dos povos tradicionais (Unidades de conservação de uso múltiplo e sustentável, de proteção integral e terras indígenas), tendo como premissa de relação inversa com a degradação florestal, ou seja, onde ocorre áreas protegidas, não ocorre degradação. Outras estão ligadas a conectividade (portos, rodovias, estradas, madeiras e localidades), tais variáveis possuem a premissa contrária às unidades de conservação, ou seja, podem estar diretamente relacionadas com a degradação. Outra variável utilizada que pode ter associação direta com a degradação são os focos de calor, disponibilizados pelo INPE, através do projeto Queimadas que também pode estar associando a degradação. A variável resposta utilizada foi a degradação florestal, representada pelos dados de projeto DETEX e DEGRAD.

A figura 3 abaixo apresenta espacialmente essas variáveis, bem como explicar brevemente as premissas na hora da escolha das variáveis. Todos os atributos utilizados foram baseados na distância, e também foram integrados no espaço celular de 5x5km².

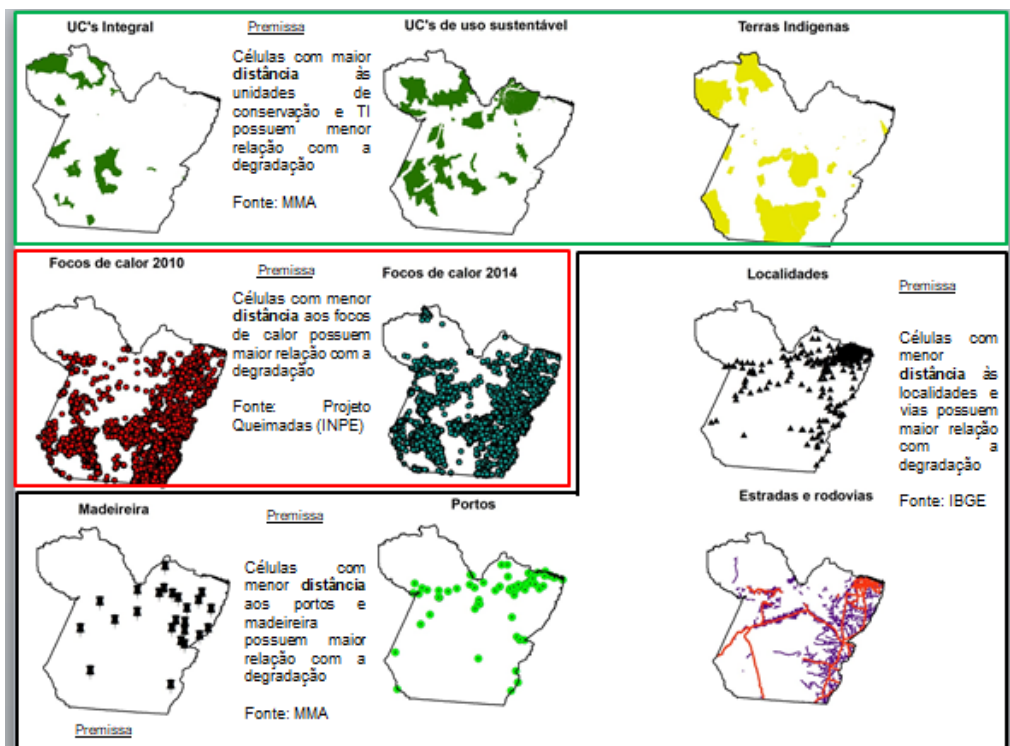


Figura 3. Variáveis independentes utilizadas no trabalho.

A variável dependente foi porcentagem de área degradada por célula. No ano de 2010, 16.985 ocorrências de degradação foram registradas pelos sistemas de monitoramento, e em 2014 esse número reduziu drasticamente para 3.869, como pode ser observado na figura 4 abaixo.

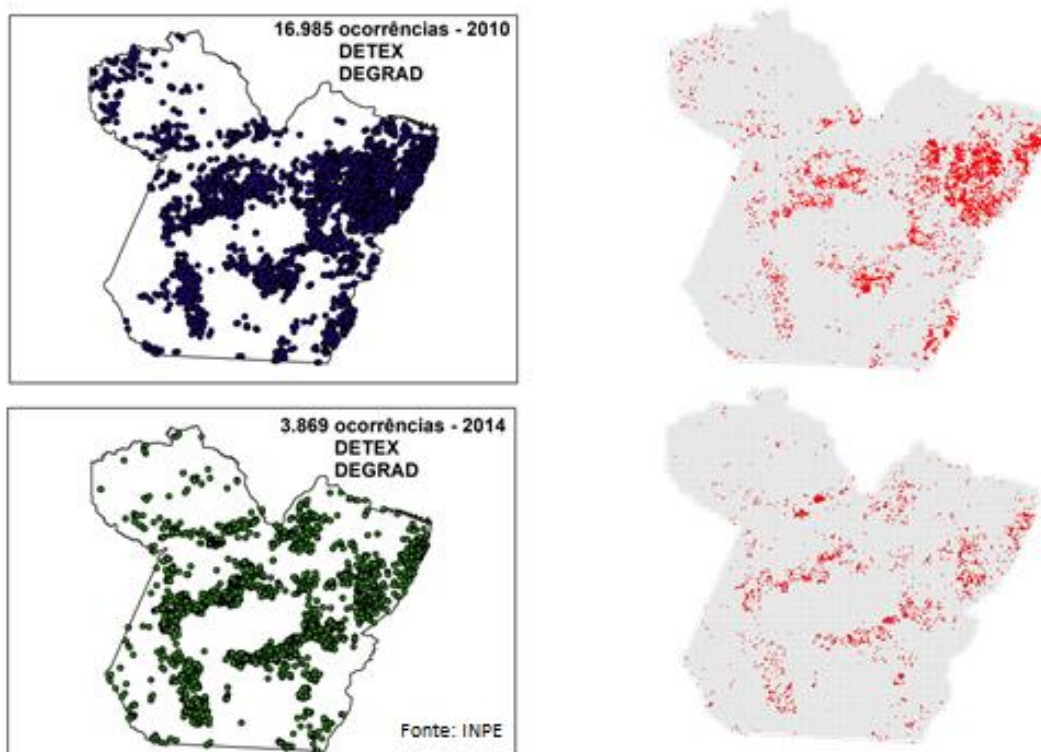


Figura 4. Espacialização dos dados DETEX e DEGRAD para o estado do Pará.

2.4. Análise exploratória e estatística

2.4.1 Função K e L

Ripley (1977) propôs um método para avaliar padrões espaciais de qualquer evento em determinado espaço baseado em processos de Poisson, denominando função K. A função K de Ripley consiste em um método baseado em contagem e distância, que utiliza as coordenadas (x, y) de cada evento ocorrido na área de estudo, e avalia a distribuição espacial em diferentes escalas simultaneamente. Por meio da estimativa da função univariada de K, é possível testar a hipótese de Completa Aleatoriedade Espacial (CAE), onde é investigada a possibilidade do padrão de distribuição espacial de um evento se comportar de forma agregada, aleatória ou regular.

Desta forma, a função K foi utilizada para verificar a distribuição espacial dos dados. No entanto, como a função K é difícil de ser interpretada e o gráfico por vezes é pouco intuitivo, um artifício comumente utilizado é a função L que serve no auxílio para interpretar a tendência de agregação do fenômeno estudado. Onde valores positivos acima de 1, evidenciam tendência a agregação dos dados, e nos abaixo de zero regular, e zero quando for aleatório.

A fórmula do estimador da função K pode ser visualizada abaixo. (Equação 1)

$$\hat{K}(x) = \hat{\lambda}^{-1} \cdot N^{-1} \cdot \sum_{j=1}^N \sum_{j \neq i} K_{ij} \quad (1)$$

Onde:

λ = intensidade ou a média de eventos por unidade de área;

x = raio centrado em cada evento com incremento até a distância máxima;

N = número de pontos em uma área de raio “x”;

i = evento no qual é centrado o raio “x”;

j = evento que ocorre dentro do círculo de raio “x” centrado em i;

$K_{ij} = 1$; quando a distância entre i e j \leq “x”;

$K_{ij} \neq 0$; quando a distância entre i e j $>$ “x”.

A fórmula do estimador da função L pode ser visualizada abaixo. (Equação 2)

$$\hat{L}(x) = \left(\frac{\hat{K}(x)}{\pi} \right)^{1/2} - x \quad (2)$$

Onde:

$\hat{L}(x)$ = função K(x) transformada;

x = raio centrado em cada evento com incremento até a distância máxima.

2.4.2 K-means

Agrupamento *k-means* é um método de clustering que objetiva particionar n observações dentre k grupos onde cada observação pertence ao grupo mais próximo da média. Desta forma, método *k-means* é capaz de encontrar padrões de agregação com base em médias pré-definidas. Depois de constatada a tendência a agregação dos dados, 3 grupos foram definidos para a clusterização das variáveis, com intuito de aplicar os modelos de regressão nos recortes

delimitado pelo *k-means*. Desta forma, variações da degradação no espaço poderiam ser minimizadas e os modelos poderiam passar a explicar melhor a relação entre as variáveis. De todas as formas, o modelo também foi testado em todo estado antes de aplicar nas subdivisões do espaço.

2.3 Correlação das variáveis

Em seguida, em cada partição no espaço foi observada a relação entre as variáveis por meio da construção de uma matriz de correlação, como exemplificado na figura 5, para eliminar as variáveis altamente correlacionadas, consideradas acima de 80% de correlação entre elas.

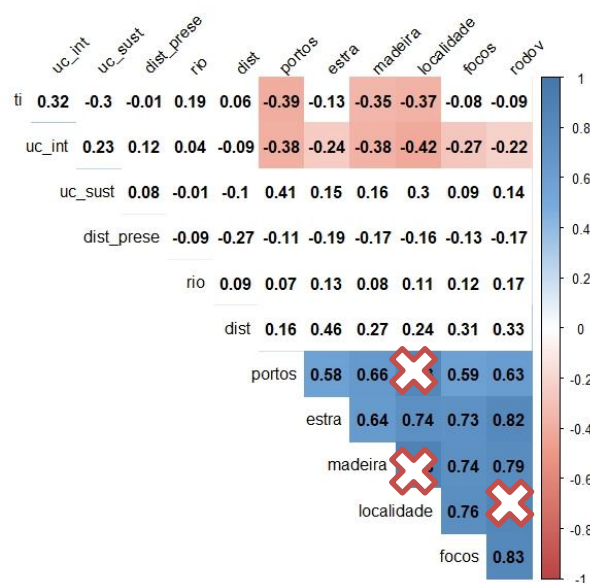


Figura 5. Matriz de correlação entre as variáveis

2.4 Regressão linear simples e múltipla

A regressão linear simples tem o objetivo de verificar a existência de uma relação entre a variável dependente (Y) e a variável independente (X). E obter o melhor modelo baseado nas observações, segundo a Equação 3 (Peternelli, 2013).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_i + \varepsilon \quad (3)$$

Onde: Y_i é a variável dependente;

β_0 constante de regressão, que representa o intercepto da reta com o eixo Y;

β_1 coeficiente de regressão, representa a variação de Y em função da variação de uma unidade da variável X;

X_i representa a i-ésima observação da variável independente, ε é uma constante que representa os erros ou resíduos (Peternelli, 2013).

A regressão múltipla diferencia-se da linear pelo número de variáveis dependentes, seguindo os mesmos pressupostos, mas compondo-se de três ou mais variáveis.

A adequação dos modelos foi analisada pelo valor R^2 (coeficiente de determinação múltipla), critério de Akaike (AIC) e índice Log da Verossimilhança (Log Likelihood). O R^2 da regressão mostra o ajuste do modelo, ou seja, quão bem este pode explicar os dados da

análise, porém não é um indicador consistente da qualidade do ajuste quando os dados são auto correlacionados espacialmente. O critério de Akaike e o Log Likelihood são índices de comparação mais adequados para modelos espaciais e utilizados para comparar modelos. O Log Likelihood é uma ferramenta para resumir a evidência dos dados sobre parâmetros desconhecidos, quanto maior o valor, melhor o ajuste do modelo (ANSELIN, 2015).

No entanto, essa técnica não considera a dependência espacial dos dados, com isso com os resíduos oriundos da análise de regressão múltipla, foi aplicado uma análise do índice de Moran I para constatar a dependência espacial dos dados e então seguir com modelo de regressão múltipla Spatial Lag, incorporando a auto correlação espacial como componente explicativa do modelo (CÂMARA et al., 2004).

2.5. Regressão espacial

Os modelos de regressão espacial acrescentam em seu formato duas variáveis que tratam das limitações existentes no outro modelo. O mesmo tem como premissa a existência de uma correlação espacial.

O modelo Spatial Lag, assim como o Spatial Error apresentam índices globais para todo o objeto de estudo. A Equação 4 apresenta o modelo do Spatial Lag Model:

$$Y_i = \beta \cdot X_i + \rho \cdot W \cdot Y_i + \varepsilon \quad (4)$$

Onde,

W é a matriz de proximidade espacial, e o produto $W \cdot$

Y_i expressa a dependência espacial em Y_i

ρ é o coeficiente espacial autorregressivo.

A hipótese nula para a não existência de autocorrelação é que $\rho = 0$.

3. Resultados e discussão

3.1 Agregação espacial dos dados

A figura 6 apresenta o resultado do k-means sobre os dados e a clusterização das variáveis para o ano de 2010. Os gráficos com as funções K e L também são apresentados e evidencia a tendência a agregação dos dados para todas as distâncias analisadas, justificando o uso da análise por regiões. É possível observar a formação de três grandes grupos de agregação. O cluster em roxo foi denominado de cluster Belém, por ser a cidade mais representativa dentro da região que conter vários municípios vizinhos interligados que estão fortemente relacionados. Desta forma, toda região nordeste do estado faz parte dessa agregação.

É importante observar que esta também é a região com maior número de ocorrências de degradação, conforme pode ser visualizado no mapa, com 15.299 ocorrências no ano de 2010, sendo a região mais crítica da análise, pois a pressão antrópica exercida é muito grande.

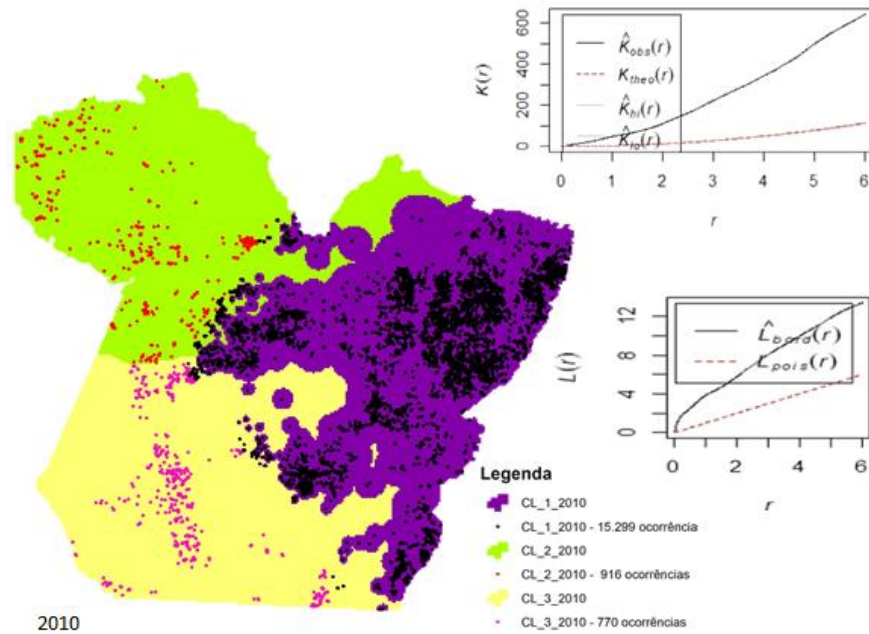


Figura 6. Mapa com o resultado da aplicação de k-means, bem como os gráficos com as funções K e L para o ano de 2010.

A figura 7 apresenta os resultados da aplicação k-means sobre os dados de degradação, bem como os gráficos com a função K e L, para o ano de 2014. É possível observar que as áreas geradas pelo algoritmo ficaram bastante similares, o que pode ser um resultado interessante quando avalia-se as relações das forças no espaço e no tempo. Pode-se observar também que o número de ocorrência da degradação teve um decréscimo considerável, passando para 3.061 ocorrências.

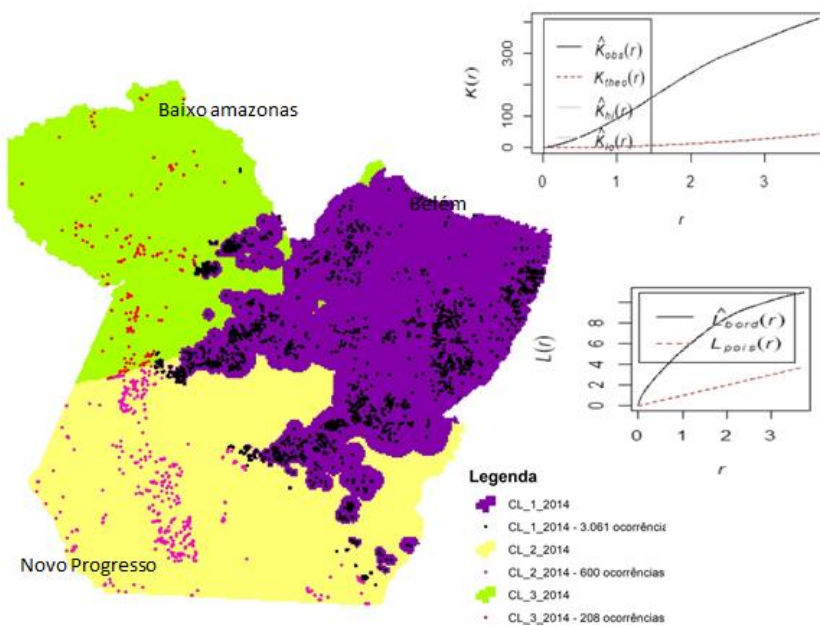


Figura 7. Mapa com o resultado da aplicação de k-means, bem como os gráficos com as funções K e L para o ano de 2014.

Os clusters foram classificados empiricamente com base com conhecimento pautado na literatura e conhecimento da realidade do local. Sendo o cluster 1 (Belém) o mais problemático e mais degradado, cluster 2 (Novo Progresso), que se trata de uma região de intensas mudanças de uso e cobertura, onde o advento agrícola tem se estabelecido e crescido a cada ano, bem como a exploração de madeira. A região é citada em alguns livros como a capital do conflito (PRINTES, 2017), pois as dinâmicas de desmatamento são constates o que acaba gerando grandes conflitos que envolvem muitas partes e acabam causando uma pressão ainda maior sobre os recursos naturais locais.

O cluster 3 (Baixo Amazonas) é a região mais preservada das 3, pois se encontra um tanto afastada do arco do desmatamento, o que favorece a manutenção dos ecossistemas, no entanto os municípios de Santarém e Belterra, por serem grande produtores de grãos na região, acaba ocasionando pressão os meio ambiente, sobre tudo sobre as unidade de conservação da região. A confluência e encontro de dois grandes rios da Amazônia, rio Tapajós e Amazonas, fez como que muitas empresas instalassem portos privados e públicos na região, o que acaba impulsionando o avanço sobre a exploração dos recursos florestais, de forma indireta.

3.2 Análise de autocorrelação espacial (Análise dos resíduos)

Quanto a análise da dependência espacial dos dados de degradação, a análise dos resíduos oriundos da análise de regressão múltipla, apontou a presença de autocorrelação espacial, evidenciando valores do índice de Moran (I) acima de 1, o que aponta a autocorrelção das variáveis, sendo por tanto, permitido a aplicação de modelo de incluam a variável espacial no modelo, conforme pode ser observado na figura 8 abaixo.

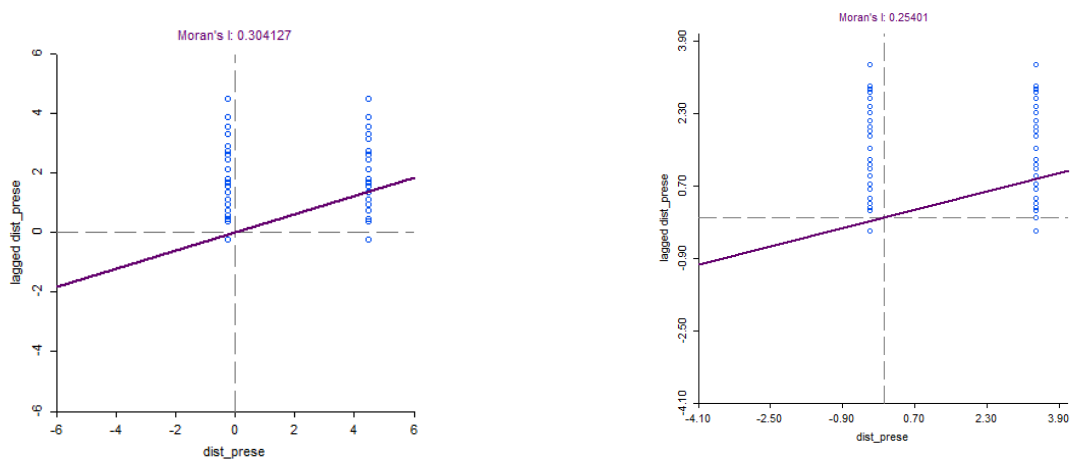


Figura 8. Análise do índice de Moran (I) para os anos de 2010 e 2014 respectivamente.

3.3 Análise do estudo das relações entre as variáveis – Regressão

Os resultados da análise de regressão linear e espacial para o estado do Pará estão dispostos na figura 9 a baixo. O R^2 da regressão linear sofreu um pequeno decréscimo entre os períodos, no entanto o R^2 espacial sofreu melhora, evidenciando que este modelo pode explicar melhor a relação das variáveis com o processo de degradação. Quanto ao coeficiente beta, as variáveis que foram mais representativas e para o modelo foram estradas e focos para o ano de 2010, com beta de 0.46 e 0.35 respectivamente. No entanto, para o ano de 2014, as variáveis que mais influenciaram no modelo foram outras, sendo estas localidades e madeiras com betas de 0.40 e 0.38 respectivamente. Tais resultados evidenciam o quanto o processo de degradação florestal pode ser dinâmico na região e as forças relacionadas a esse processo podem se modificar no espaço e no tempo.

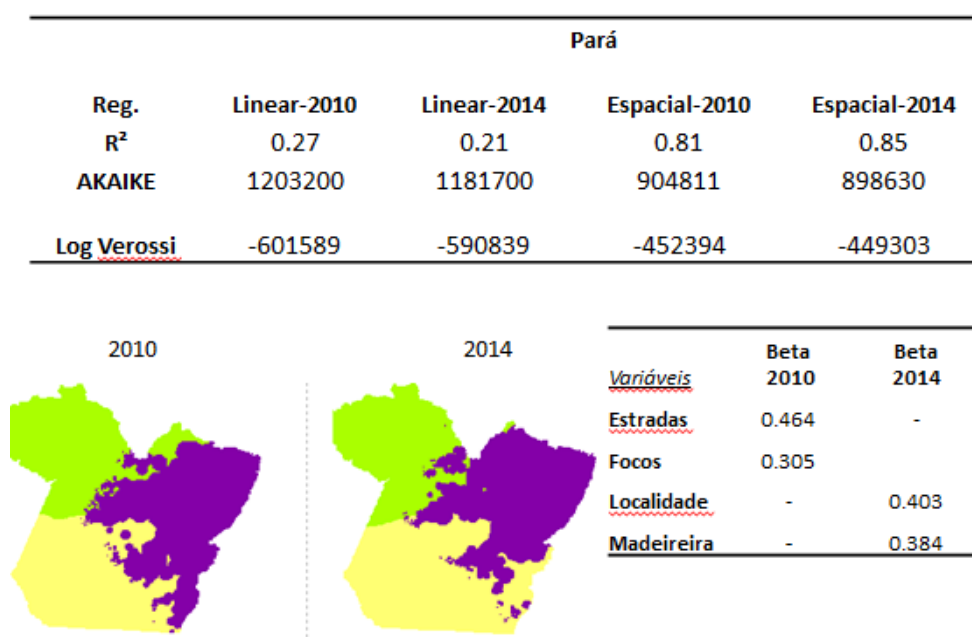


Figura 9. Análise de regressão para o estado do Pará com as variáveis mais significativas.

O cluster denominado Belém, obteve um R^2 de 0,31 para o ano de 2010, sendo este melhor do que o aplicado para todo o estado, nesse sentido, a regionalização provocou efeito positivo, pois o modelo conseguiu uma relação mais forte com as variáveis. Desta forma, estradas e focos continuaram sendo as variáveis com maior influência no modelo, por tanto sendo também a mais representativa em termos de degradação. É importante explicitar o elevado valor do coeficiente para unidade de conservação integral, evidenciando que em áreas onde teoricamente não poderiam ter relações altas com a degradação, surgem. Isso pode estar associado à falta de políticas de conservação e combate ao desmatamento na região.

O modelo spatial lag obteve um aumento significativo entre os períodos, chegando a 0.80 em 2014 e tornando o modelo ainda mais confiável para essa região. A diminuição dos AKAIKES e log verossi apontam para melhora do modelo entre os períodos também, uma vez que quanto menor forem esses índices, mais ajustado será o modelo. Conforme pode ser observado na figura 10.

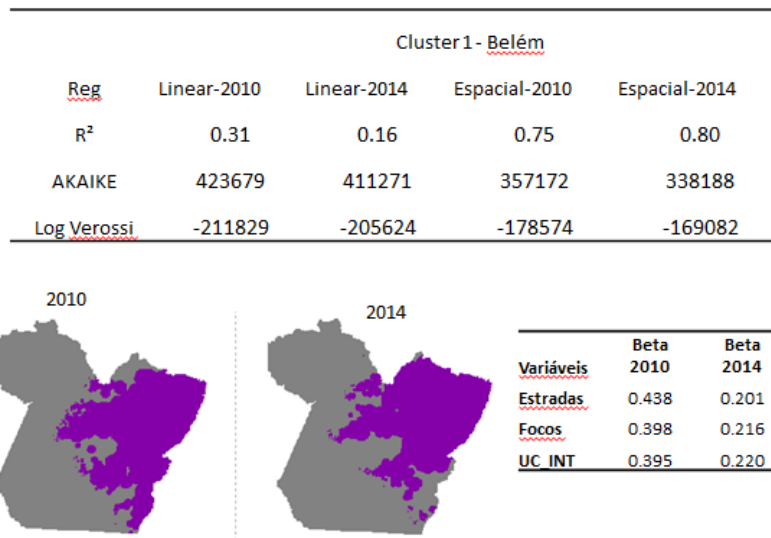


Figura10 . Análise de regressão para o estado do Belém com as variáveis mais significativas.

O segundo cluster analisado é o de Novo Progresso. Nessa região os valores de R², AKAIKE e log verossimilhança foram ainda mais explicativos e possibilitaram explicar ainda melhor a relação das variáveis com o fenômeno degradação. A regressão espacial obteve pequeno decréscimo, mas ainda assim, ficou com R² de 0.75. Focos de calor estavam fortemente relacionados nos dois períodos, inferindo que o uso do fogo nas florestas é recorrente. O que pode acarretar prejuízos sem precedentes aos ecossistemas da região.

Outra variável que se mostrou importante nesse processo para o ano de 2010 foram os polos madeireiros, que tiveram uma contribuição bastante elevada para o modelo. Essa contribuição pode estar relacionada com a própria configuração espacial da região, que possui como forte fonte de renda e exploração de recursos florestais, sobre tudo madeira. O grande número de serrarias na região, conforme pode ser verificado em viagem de campo na região podem explicar o porquê dessa variável ser tão significativa nesse modelo.

As unidades de conservação de uso múltiplo e sustentável também apresentaram valores beta elevados, inferindo que áreas preservadas podem estar relacionadas com o processo de degradação, como é possível verificar na Floresta Nacional do Jamanxim, que tem sofrido enormes perdas da cobertura florestal nos últimos anos e tem sido alvo de grileiros e posseiros. Conforme pode ser observado na figura 11.

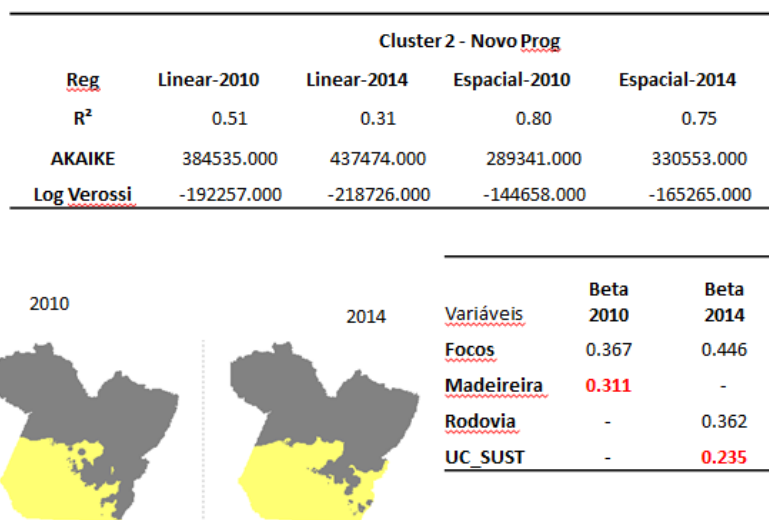


Figura 11. Análise de regressão para o estado do Belém com as variáveis mais significativas.

A região do baixo Amazonas, na qual a principal cidade é Santarém também apresentaram valores de R^2 , AKAIKE e log verossimilhança representativos, pois o R^2 de 0.57 para 2010 e 0.30 para 2014 é mais elevado que os R^2 que foi verificado para todo estado do Pará, apontando melhora no modelo na escala regional. O lag espacial também foi elevado para ambos nos anos, o que mostra o elevado poder do modelo em explicar as variáveis relacionadas com a degradação.

Para o ano de 2010, estradas e focos de calor foram as variáveis com os maiores beta verificados. Como a região está sofre forte influência da BR-163 e da BR-230 essa variável já era esperada na contribuição do modelo. Focos de calor passam a ter um papel ainda mais importante na região com o passar dos anos, fazendo com que seja a variável mais relacionada com a degradação na região. Como a região possui bastantes terras indígenas, a relação com a degradação também foi detectada pelo modelo, com um coeficiente beta de 0.26 apontando que em áreas protegidas tem sido exercido exploração de madeira ilegal. Conforme apresenta a figura 12.

Cluster 3 - Região do Baixo Amazônas

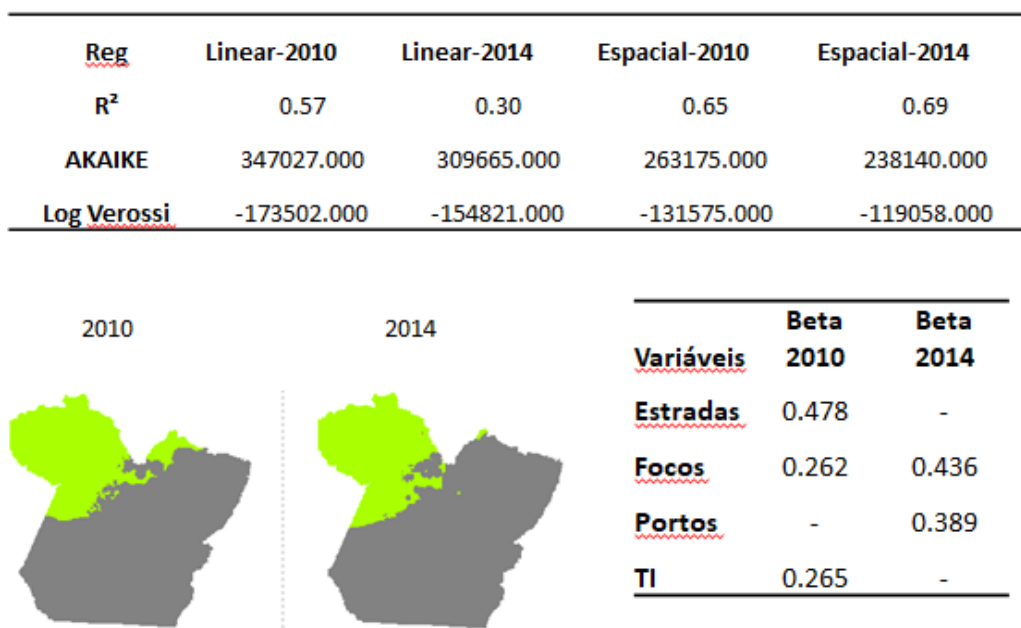


Figura12. Análise de regressão para o estado do Belém com as variáveis mais significativas.

4. Conclusões

As variáveis relacionadas com a degradação florestal não são as mesmas nas diferentes regiões, mostrando que de fato o processo de degradação no estado do Pará é heterogêneo e que políticas de combate a extração ilegal de madeira necessitam ser aplicados em escala local nos diferentes regimes de degradação.

Estradas e focos de calor apresentaram as maiores relações com a degradação na maioria das áreas, sugerindo ser as variáveis mais relacionadas com a degradação em todas as regiões do estado do Pará.

Variáveis socioeconômicas (escolaridade, renda e razão de sexo) podem ser incluídas no modelo e podem ajudar a entender melhor o processo de degradação no estado e melhorar e acurácia de resposta do modelo.

Referências

- ANSELIN, L. An Introduction to Spatial Regression Analysis in R. Illinois: University of Illinois, 2003. 25 p.
- BARROS, A. C.; UHL, C. Logging along the amazon river and estuary: patterns, problems and potential. *Forest Ecology and Management*, v. 77, n. 1/3, p. 87 - 105, 1995.
- BARROS, A. C.; VERÍSSIMO, A.A expansão madeireira na Amazônia: impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará. Belém: Imazon, 2002. 168 p.
- Becker, B. K. Amazônia. Ed. Ática, 1990. Conceição, J. C. P. R.;
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. Dossiê Amazônia Brasileira I. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 53, p. 71-86, 2005.
- CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; CRUZ, O. G.; CORREA, V. Análise espacial de áreas. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. (Orgs.). Análise espacial de dados geográficos. 1. ed. Brasília: EMBRAPA, 2004. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>>. Acesso em: 20 nov. 2015.
- Conceição, P. H. Z.. Agricultura: Evolução E Importância Para A Balança Comercial Brasileira. IPEA. Brasília, 2014.
- DPI/INPE, Tutorial do Terraview. Disponível em . Acesso em dezembro de 2015.
- ESCADA, M. I. S., MONTEIRO, A. M. V., AGUIAR, A. N. D., CARNEIRO, T. G. S., CAMARA, G. Análise de padrões e processos de ocupação para a construção de modelos na Amazônia: Experimentos em Rondônia, Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 2973-2983.
- FERREIRA, Efreim Jorge Gondim; SANTOS, Geraldo Mendes dos; LEÃO, Elizabeth Lima Mendes; OLIVEIRA, Luiz Antônio. Bases Científicas para estratégias de preservação desenvolvimento da Amazônia. INPA. Manaus, 1993. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) Geociências, Produtos. Disponível em . Acesso em dezembro de 2015.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites: Sistemas PRODES, DETER, DEGRAD e QUEIMADAS 2007-2008. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008a. 47 p. Disponível em: . Acesso em dezembro de 2015.
- JENSEN, J. R. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. [S.l.]: Pearson Prentice Hall, 2007. 592 p. (Prentice Hall series in geographic information science).
- LAMB, D.; GILMOUR, D. Rehabilitation and restoration of degraded forests. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK and WWF, Gland. 110 p., 2003.
- LAURENCE, W.F; ALBERNAZ, A.K.M.; FEARNSTIDE, P.M; VASCONCELOS, H.L; FERREIRA, L.V. Deforestation Amazonia. *Science*, Washington, n. 304, p. 1109-1111, 2004.

MELLO, M. P.; PETERNELLI, L. A. Conhecendo o R: uma visão mais que Estatística. Viçosa, MG: Editora UFV, 2013. 222 p. ISBN 9788572694957. Disponível em: . Acesso em: 13 dez. 2016.

NEPSTAD, D. C.; VERÍSSIMO, A.; ALENCAR, A; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKS, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, v. 398, p.505-508, 1999 a.

PEARSON, T.R.H.; BROWN, S.; CASARIM, F.M. Carbon emissions from tropical forest degradation caused by logging. *Environmental Research Letters*, v. 9, n. 3, p. 034017, 2014.

PINHEIRO, T. F.; ESCADA, M. I. S. E. Detecção e Classificação de padrões da Degradação Florestal na Amazônia por meio de banco de dados celular. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto–SBSR*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil 13.

PRATES, R. C. O desmatamento desigual na Amazônia brasileira: sua evolução, suas causas e conseqüências sobre o bem-estar. 2008. 159p. Tese (doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2008.

RAMALHO-FILHO, A.; BEEK, K. J. Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995.

SABOGAL, C. et al. Manejo empresarial na Amazônia brasileira: restrições e oportunidades. Belém: Cifor, 2006. 74 p. Center for International Forestry Research.

SHIMABUKURO, Y.E.; BEUCHLE, R.; GRECCHI, R.C.; ACHARD, F. Assessment of forest degradation in Brazilian Amazon due to selective logging and fires using time series of fraction images derived from Landsat ETM+ images. *Remote sensing letters*, v. 5, n. 9, p. 773-782, 2014.

VIEIRA, S. et al. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. *Oecologia*, [s.l.], v. 140, n. 3, p.468-479, 17 jun. 2004. Springer Science + Business Media.