

Susceptibilidade das áreas protegidas da Amazônia Legal ao desflorestamento Susceptibility to deforestation of protected areas in Brazil's Legal Amazon

Jorge Luis Gavina Pereira^{1,II}  | Leandro Valle Ferreira¹ 

¹Museu Paraense Emílio Goeldi/MCTIC. Belém, Pará, Brasil

^{II}Rede de Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal (Bionorte). São Luis, Maranhão, Brasil

Resumo: O estabelecimento de uma rede de áreas protegidas é fundamental para a conservação das áreas naturais da Amazônia. Buscou-se avaliar quais tipos de áreas protegidas estão sendo mais susceptíveis ao desflorestamento, utilizando análise fatorial aplicada a uma série de variáveis espaciais. O grupo de Unidades de Conservação de Uso Sustentável (UCUS) que incluía categorias de domínio público e/ou privado (UC-US2) foi o que apresentou o menor valor médio de síntese fatorial interpolada, indicando que UCUS pertencentes a este grupo sejam mais susceptíveis ao desflorestamento. Os valores mais baixos de síntese fatorial interpolada foram observados preferencialmente nas áreas de maior ocupação. A categoria 'alta susceptibilidade ao desflorestamento' foi predominante apenas no grupo UC-US2, representando mais de dois terços das áreas (69,6%). Na região de maior pressão por ocupação, foi observado maior percentual de categorias de UCUS que possuem as menores restrições de uso (APA, Arie e RPPN), possivelmente com a intenção de explorar ao máximo essas áreas.

Palavras-chave: Unidades de Conservação. Análise fatorial. Geoprocessamento.

Abstract: The establishment of a network of protected areas is fundamental for the conservation of the natural areas of the Amazon. We sought to evaluate which types of protected areas are most susceptible to deforestation using factor analysis applied to a range of spatial variables. The group of Sustainable Use Conservation Units (UCUSs) that included public and/or private domain categories (UC-US2), presented the lowest mean value of interpolated factorial synthesis, and it is expected that UCUSs belonging to this group are more susceptible to deforestation. The lowest values of interpolated factorial synthesis were observed predominantly in the areas of greater occupation. The category 'high susceptibility to deforestation' was predominant only in the UC-US2 group, representing more than two thirds of the areas (69.6%). In the region with the highest pressure per occupation, a higher percentage of categories of UCUS were observed that have the lowest number of use restrictions (APA, Arie and RPPN), possibly with the intention of exploiting these areas to the fullest extent.

Keywords: Conservation Units. Factor analysis. Geoprocessing.

PEREIRA, J. L. G. & L. V. FERREIRA, 2020. Susceptibilidade das áreas protegidas da Amazônia Legal ao desflorestamento. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais** 15(2): 445-463. DOI: <http://doi.org/10.46357/bcnaturais.v15i2.200>.

Autor para correspondência: Jorge Luis Gavina Pereira. Museu Paraense Emílio Goeldi/MCTIC. Coordenação de Ciências da Terra e Ecologia. Av. Perimetral, 1901 - Terra Firme. Belém, PA, Brasil. CEP 66077-530 (jorgegavina@museu-goeldi.br).

Recebido em 16/10/2019

Aprovado em 27/02/2020

Responsabilidade editorial: Débora Rodrigues Souza-Campana



INTRODUÇÃO

Na bacia amazônica estão localizados, aproximadamente, 60% da floresta tropical remanescente do mundo, estando 40% delas no território brasileiro (Laurance *et al.*, 2001, 2002), o que representa a maior área contínua deste tipo de floresta do planeta (Skole & Tucker, 1993; Foley *et al.*, 2007). A floresta amazônica desempenha papéis globais vitais na manutenção da biodiversidade (Giam, 2017; Symes *et al.*, 2018), da hidrologia e de climas regionais (Fearnside, 2005; Nobre *et al.*, 2016), bem como no armazenamento de carbono terrestre (Fearnside, 1996; Foley *et al.*, 2007; Nogueira *et al.*, 2015).

Na década de 1970, intensificou-se a ocupação da Amazônia brasileira, sobretudo ao longo das rodovias abertas pelo governo federal nas décadas de 1960 e 1970 (Belém-Brasília, Cuiabá-Porto Velho-Rio Branco, Cuiabá-Santarém e Transamazônica) (Andersen & Reis, 1997; Alves, 2002; Becker, 2005; Prates & Bacha, 2011). A concentração do desflorestamento nas margens leste, sudeste, sul e sudoeste da Amazônia, seguindo principalmente os eixos de ocupação (estradas), originou a expressão 'arco do desmatamento', região que concentra a maior parte do desflorestamento da Amazônia Legal (Skole & Toker, 1993; Andersen & Reis, 1997; Alves, 2002; Margulis, 2004; Fearnside, 2005; Ferreira *et al.*, 2005).

Alguns estudos sobre o desflorestamento da Amazônia procuram identificar relações deste evento com informações analisadas em nível de municípios (Andersen & Reis, 1997; Pfaff, 1999; Arraes *et al.*, 2012; Faria *et al.*, 2019) ou são realizados por meio de uma malha espacial regular (Laurance *et al.*, 2002). Como estes estudos analisaram um grande número de variáveis, eles utilizaram estatística multivariada como suporte de análise (Hair Jr. *et al.*, 2014), destacando-se os seguintes métodos: regressão linear múltipla, que inclui os modelos econométricos (Andersen & Reis, 1997; Pfaff, 1999; Laurance *et al.*, 2002; Arraes *et al.*, 2012), e as técnicas de condensação de informações, como escalonamento multidimensional não métrico (Laurance *et al.*, 2002) e análise fatorial (Faria *et al.*, 2019).

Andersen & Reis (1997) concluíram que a quantidade de terras desflorestadas na Amazônia era determinada principalmente pela demanda por novas terras agrícolas e pelo aumento do rebanho bovino. Pfaff (1999) demonstrou que maior densidade de estradas, maior quantidade de projetos subsidiados, menor distância dos mercados e melhor qualidade dos solos levavam a maior desflorestamento. Laurance *et al.* (2002) demonstram que as rodovias e a densidade populacional foram os fatores determinantes do desflorestamento, a escassez de chuvas e as estradas não pavimentadas apresentaram influência secundária; indicaram, ainda, que a distância dos rios não foi um preditor importante do desflorestamento. Arraes *et al.* (2012) observaram que valores elevados do produto interno bruto (PIB) agropecuário e maiores densidades populacionais estão associados a um maior desflorestamento. Por outro lado, demonstraram que indicadores de desenvolvimento humano municipal (IDH-M) mais elevados e a presença de um órgão público fiscalizador (secretaria de meio ambiente) contribuíram para a redução do mesmo. Faria *et al.* (2019) concluíram que a combinação que mais favoreceu o desflorestamento foi o alto desenvolvimento econômico, a pouca agricultura familiar e a relevante abertura ao comércio.

Com o intuito de monitorar a floresta amazônica, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) criou o Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES), que, desde 1988, produz taxas anuais de desflorestamento da Amazônia Legal (INPE, 2019). No período 1987-2017, o valor médio anual dessa taxa foi de $14.511 \text{ km}^2 \pm 6.737$, sendo o valor máximo de 29.059 km^2 , registrado em 1995, e o valor mínimo de 4.571 km^2 , ocorrido em 2012 (INPE, 2019). Pressionado pela repercussão da elevação da taxa de desflorestamento, o governo brasileiro criou, em 2004, o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), o qual teve um papel fundamental na queda dessa taxa do patamar de 20.000 km^2 (período 1996-2005) para o valor de 6.400 km^2 , considerando-se a média do período 2014-2016 (MMA, 2018a).

Diversos estudos já demonstraram a importância das áreas protegidas na conservação dos ambientes naturais, uma vez que se tem observado alteração ambiental superior fora das áreas protegidas, quando comparada ao interior delas (Bruner *et al.*, 2001; Ferreira *et al.*, 2005; Nagendra, 2008; Nolte *et al.*, 2013; França *et al.*, 2015). No entanto, essa proteção variou de acordo com o tipo de área protegida. França *et al.* (2015) constataram que as unidades de conservação de uso sustentável foram ineficazes no combate ao desflorestamento, e isso pode estar relacionado com sua localização, pois, de maneira geral, elas estão localizadas em áreas com maior pressão de ocupação (Nolte *et al.*, 2013).

No Brasil, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), estabelecido em 2000, definiu critérios para a criação das Unidades de Conservação (UC), que podem pertencer às seguintes categorias: Proteção Integral (UC-PI), cujo objetivo é preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos recursos naturais; e Uso Sustentável (UC-US), cujo objetivo é compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de uma parcela dos recursos naturais (MMA, 2011).

Acreditando na eficácia das áreas protegidas para a manutenção da diversidade biológica e sociocultural, o governo brasileiro implementou o Plano Nacional de Áreas Protegidas (PNAP), que, além das UC, também incluiu as Terras Indígenas (TI), assegurando os direitos territoriais dos povos indígenas como instrumento para conservação da biodiversidade (MMA, 2011).

A análise fatorial tem sido usada nas mais diversas áreas do conhecimento, como Agronomia, Biologia, Floresta, Ciências Sociais, por meio da qual o pesquisador realiza o levantamento de diversas variáveis para as unidades de análise (Souza, 2003). O objetivo da análise fatorial é encontrar uma maneira de condensar as informações contidas em muitas variáveis originais em um conjunto menor de fatores, com perda mínima de informações (Rosado *et al.*, 2009; Hair Jr. *et al.*, 2014). O número de

variáveis deve ser de quatro a cinco vezes maior do que o número de fatores extraídos (Menezes *et al.*, 1978), devendo ser extraído o menor número de fatores possível, desde que expliquem 70% ou mais da variância dos dados originais (Soares *et al.*, 1999; Souza, 2003).

Estudos que utilizaram análise fatorial com variáveis predominantemente socioeconômicas muitas vezes tiveram como objetivo hierarquizar e posteriormente agrupar os municípios, com base nos escores fatoriais de forma individual (Rosado *et al.*, 2009) ou com a criação de índices baseados na média ponderada dos escores fatoriais (Soares *et al.*, 1999; Monteiro & Pinheiro, 2004; Melo & Parré, 2007; Rezende *et al.*, 2007; Stege & Parré, 2013). Com a utilização dos valores de escore fatorial, alguns trabalhos definiram, ainda, classes com base em intervalos de desvio padrão (Melo & Parré, 2007; Rezende *et al.*, 2007) ou agregaram as unidades de análise, apoiados em alguma técnica estatística de agrupamento (Soares *et al.*, 1999; Rosado *et al.*, 2009).

Como áreas de floresta da Amazônia são importantes para a conservação da biodiversidade e da sociodiversidade, o armazenamento de carbono e a regulação do regime hidrológico, o estabelecimento de uma ampla rede de áreas protegidas torna-se primordial. Uma das formas de avaliar se áreas protegidas estão sendo eficazes é a verificação da alteração da cobertura florestal, buscando formas de identificar quais áreas protegidas estão mais sujeitas ao desflorestamento.

Assim, este artigo objetivou avaliar a suscetibilidade das áreas protegidas da Amazônia Legal em relação ao desflorestamento, utilizando análise fatorial aplicada a uma série de informações espaciais: variáveis relacionadas às próprias áreas protegidas (forma e área nuclear), variáveis ambientais (elevação, declividade, precipitação, fertilidade do solo e queimadas), variáveis derivadas de outras informações (distâncias de queimadas, estradas, cidades e rios) ou, ainda, analisadas para o entorno das áreas protegidas (áreas protegidas, desflorestamento e queimadas).

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

Este estudo focou apenas nas áreas protegidas da Amazônia Legal, que, com 5.016.136 km², representa 59% do território brasileiro (Figura 1). Ela abrange totalmente os estados do Amazonas (AM), Pará (PA), Mato Grosso (MT), Rondônia (RO), Acre (AC), Amapá (AP), Roraima (RR) e parcialmente os estados do Tocantins (TO, 98%), Maranhão (MA, 79% - oeste do meridiano de 44°) e Goiás (apenas 0,8%) (IBGE, 2011).

ORGANIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES GEOESPACIAIS

Os dados geoespaciais foram manipulados utilizando-se o Sistema de Informação Geográfica (SIG) ArcGIS, versão 10.0 (Crosier *et al.*, 2005). Para a realização de cálculos de áreas, adotou-se a Projeção de Albers, com os parâmetros definidos pelo IBGE para a Amazônia Legal (Santos & Oliveira, 2003).

ÁREAS PROTEGIDAS

Inicialmente, procedeu-se a organização das áreas protegidas da Amazônia Legal: Unidades de Conservação (UC) (MMA, 2018b) e Terras Indígenas (TI) (FUNAI, 2018). Caso a área protegida se estendesse além do limite da Amazônia Legal, apenas a área pertencente à Amazônia Legal seria considerada.

As sobreposições entre as áreas protegidas foram removidas utilizando-se a seguinte ordem de prioridade: 1 - Terras Indígenas (TI); 2 - Unidades de Conservação de Proteção Integral (UC-PI)¹; 3 - Unidades de Conservação de Uso Sustentável – somente terras públicas (UC-US1)²; 4 - Unidades de Conservação de Uso Sustentável – terras públicas e/ou privadas (UC-US2)³ (Figura 2). Para

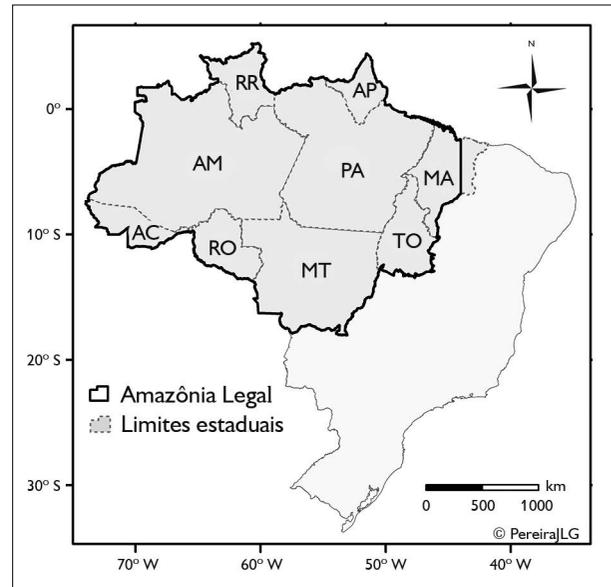


Figura 1. Amazônia Legal. Mapa: Jorge L. G. Pereira (2019).

a remoção de todas as sobreposições, foi necessária a conversão do formato do arquivo de vetor (formato original) para matriz (*raster*). Utilizou-se como resolução padrão a célula (pixel) de 30 por 30 metros, a mesma do dado de desflorestamento do PRODES para o ano de 2017. Todos os dados matriciais gerados subsequentemente adotaram a resolução de 30 metros.

Após a remoção das sobreposições entre as áreas protegidas, constatou-se que as TI representam mais da metade das áreas protegidas da Amazônia Legal, e que as UC-US (1 e 2) representam praticamente o dobro da área das UC-PI (Tabela 1).

Com o intuito de avaliar quais tipos de áreas protegidas estão mais susceptíveis ao desflorestamento, as análises foram realizadas considerando quatro grupos: 1 - TI; 2 - UC-PI (todas as categorias); 3 - UC-US1 (domínio público – RESEX, RDS e Floresta); 4 - UC-US2 (domínio público e/ou privado – APA, ARIE e RPPN).

¹ Estação Ecológica (ESEC), Reserva Biológica (REBIO), Parques (federal, estadual ou municipal), Monumento Natural (MONA) e Refúgio de Vida Silvestre (REVIS).

² Reserva Extrativista (RESEX), Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS), Florestas (nacional, estadual ou municipal) e Reserva de Fauna (REFAU).

³ Área de Proteção Ambiental (APA), Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).

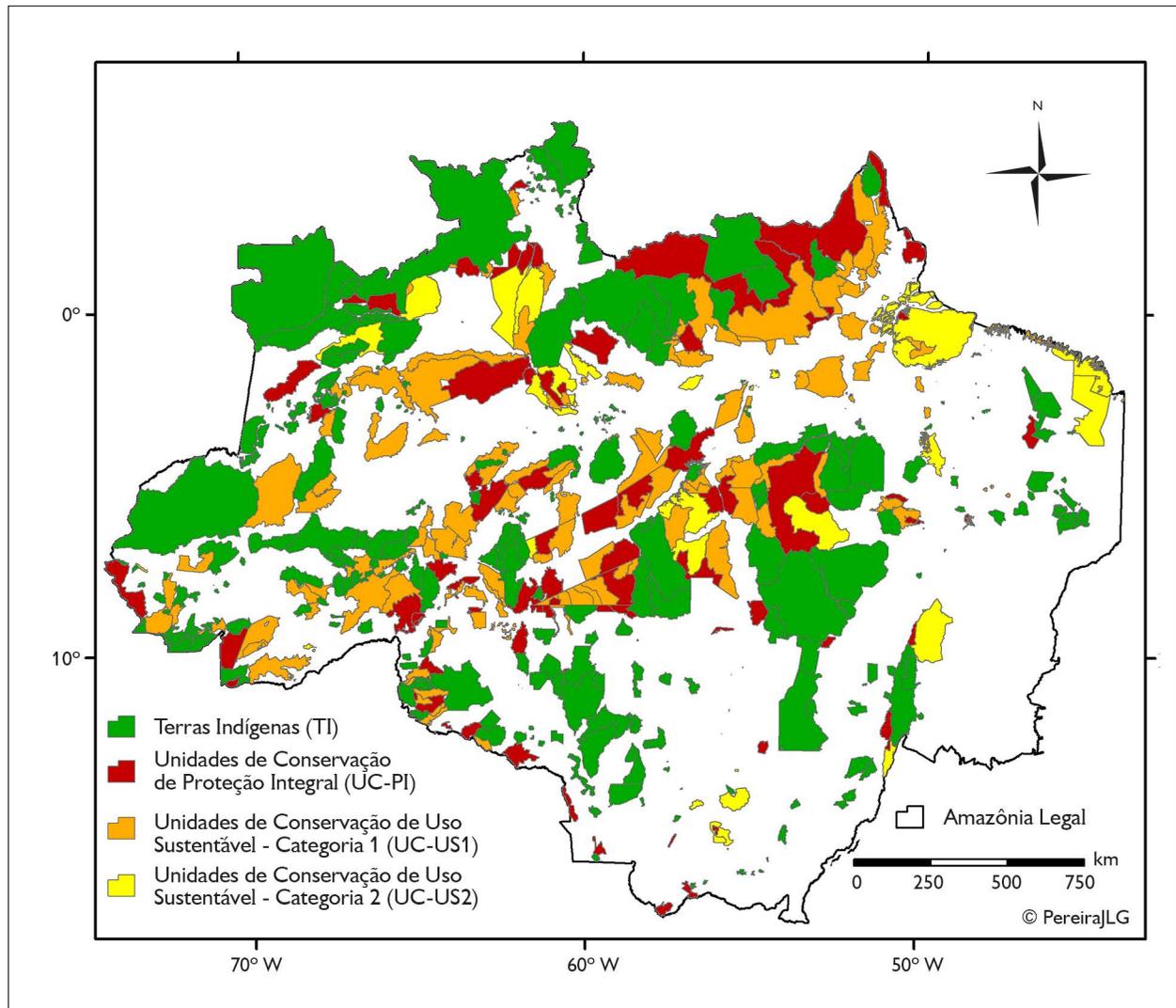


Figura 2. Grupos de áreas protegidas da Amazônia Legal. Mapa: Jorge L. G. Pereira (2019).

Tabela 1. Valores finais das classes de áreas protegidas da Amazônia Legal.

Classes	Número de áreas	Área (km ²)	Percentual
Terras Indígenas (TI)	364	1.138.316	51,0
Unidades de Conservação de Proteção Integral (UC-PI)	93	371.069	16,6
Unidades de Conservação de Uso Sustentável - somente domínio público (UC-US1)	156	515.101	23,1
Unidades de Conservação de Uso Sustentável - domínio público e/ou privado (UC-US2)	56	209.230	9,4
Total	669	2.233.716	100,0

DESFLORESTAMENTO

Neste estudo, foi utilizado o dado de desflorestamento do PRODES para o ano de 2017 (INPE, 2018a). Como o interesse era pelo desflorestamento total acumulado até o ano de 2017, todas as classes de desflorestamento, incluindo o resíduo, foram agregadas, bem como as classes de não floresta, resultando em cinco classes: desflorestamento, floresta, nuvem, não floresta e hidrografia (Figura 3 e Tabela 2).

Para o cálculo do desflorestamento percentual total, foram sobrepostas as informações do PRODES com

Tabela 2. Valores das classes agregadas para 2017 oriundos do Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira (PRODES), com classes agregadas para a Amazônia Legal.

Classes	Área (km ²)	Área (%)
Floresta	2.977.411	59,4
Não floresta	959.936	19,1
Hidrografia	112.319	2,2
Nuvem	177.521	3,5
Desflorestamento	788.030	15,7
Total	5.015.217	100,0

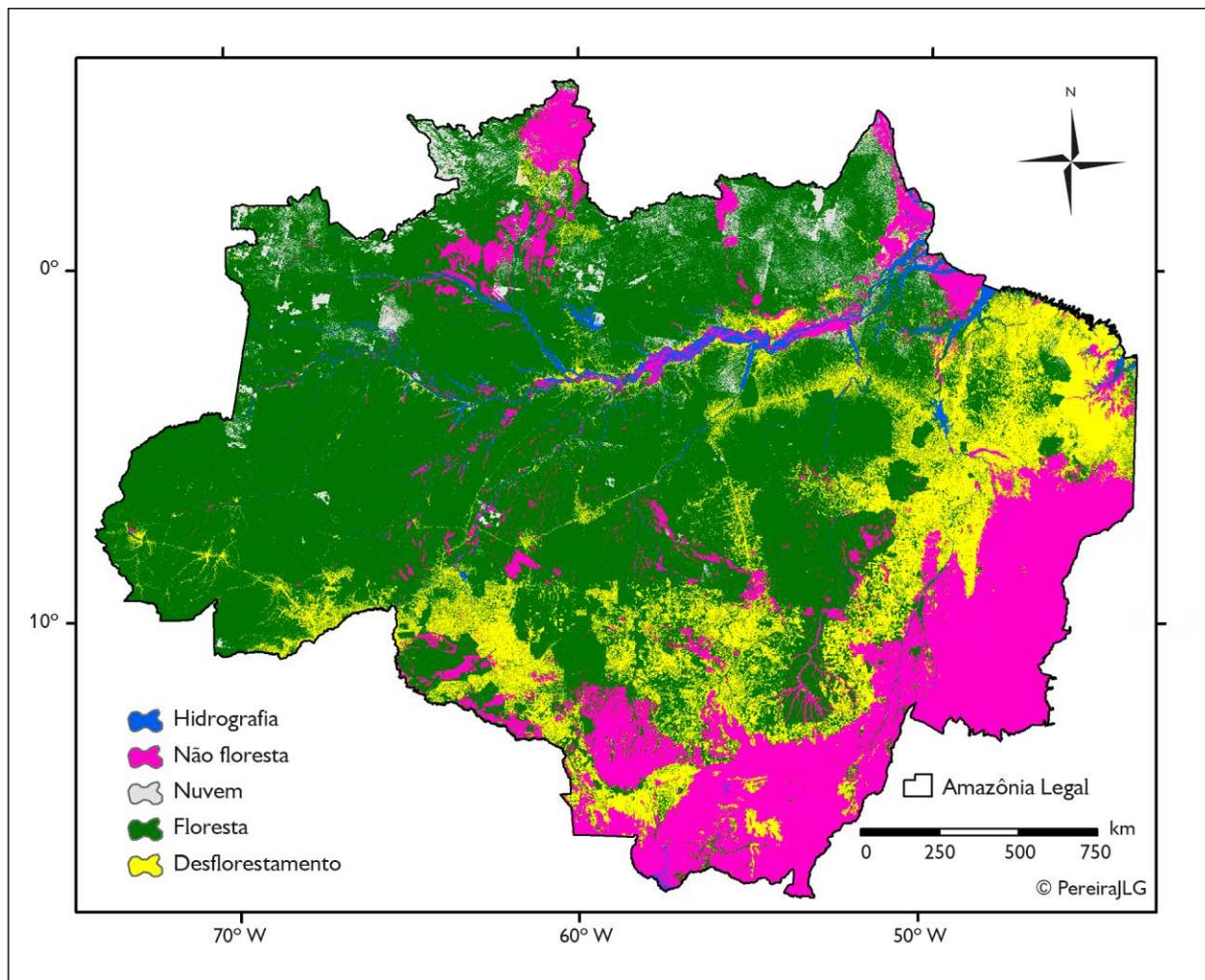


Figura 3. Dados de 2017 oriundos do Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira (PRODES), com classes agregadas para a Amazônia Legal. Mapa: Jorge L. G. Pereira (2019).

as áreas protegidas, obtendo-se a área de cada classe PRODES dentro de cada área protegida. No cálculo do desflorestamento percentual da área protegida, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$(1) \text{ Desflorestamento (\%)} = \frac{(\text{Área desflorestada})}{(\text{Área de floresta} + \text{Área desflorestada})} \times 100$$

Onde:

Área de floresta = soma das áreas das classes floresta e nuvem.

Área desflorestada = desflorestamento total acumulado até 2017.

No cálculo do percentual da área desflorestada, as classes que não podem ser desflorestadas (não floresta e hidrografia) foram ignoradas, e as áreas de nuvens foram computadas com áreas de floresta, uma vez que elas só ocorrem sobre florestas, sendo que o desflorestamento percentual do período 2016-2017 não foi muito elevado (0,2%). Considerando-se apenas as áreas que podem ser efetivamente desflorestadas, ou seja, desconsiderando-se não floresta e hidrografia (1), verificou-se que 20% da cobertura florestal original da Amazônia Legal já tinham sido derrubados em 2017.

VARIÁVEIS ESPACIAIS

Após a obtenção do desflorestamento por área protegida (hectares e percentual), passou-se ao processamento das informações espaciais a serem relacionadas com o desflorestamento. Foram levantadas as seguintes informações para cada área protegida:

1. Quantidade de área nuclear (em hectares). Área com distância igual ou inferior a 900 metros da borda (Skole & Tucker, 1993);
2. Percentual de área nuclear. Área nuclear (%) = área nuclear/área total*100;
3. Índice de forma. Perímetro (em metros) dividido pela raiz quadrada da área (em hectares), calculado utilizando a extensão *Patch Analyst 5* (Elkie *et al.*, 1999);
4. Elevação média (m). Utilizou-se a elevação resultante da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) (Farr *et al.*, 2007);
5. Declividade média (em percentagem). $D = dh/dH*100$, onde D é a declividade percentual, dh é o deslocamento na vertical (subida) e dH, a distância percorrida projetada na horizontal. A camada declividade percentual foi elaborada a partir dos dados de elevação SRTM;
6. Precipitação média do mês mais seco do ano (agosto). Utilizou-se os dados de precipitação (mm) da base *WorldClim 2* (Fick & Hijmans, 2017). Foi calculada a precipitação média dos 12 meses do ano para a Amazônia Legal, verificando-se ser agosto o mês mais seco;
7. Capacidade de troca catiônica. Solos com capacidade de troca de cátions (CTC) mais elevada, em geral, possuem maior fertilidade (Camargo *et al.*, 1982). A informação sobre CTC (5-15 cm) foi obtida da base *SoilGrids* (Hengl *et al.*, 2017);
8. Densidade média de queimadas. Foram utilizados 3.040.693 registros de queimadas dos satélites de referência, cobrindo o período de 1 de junho de 1998 a 31 de dezembro de 2017 (INPE, 2018b). A partir dos registros, foi utilizada a função de densidade de Kernel para a geração de uma superfície de densidade de queimada (Câmara & Carvalho, 2004);
9. Distância média das queimadas. A partir dos registros, foi elaborada também uma superfície de distâncias em metros para as queimadas;
10. Distância média das cidades. Utilizando-se a informação de cidades e distritos (MMA, 2018c), foi elaborada uma superfície de distâncias em metros para as cidades;
11. Distância média das estradas. Utilizando-se a informação de estradas (MMA, 2018d), foi elaborada uma superfície de distâncias em metros para as estradas;

12. Distância média dos rios principais. Utilizando-se a informação dos rios principais – linhas e polígonos (MMA, 2018e) –, foi elaborada uma superfície de distâncias em metros para os rios principais;
13. Áreas protegidas (em hectares e percentagem) no entorno das áreas protegidas. Para avaliar a quantidade de áreas protegidas (UC e TI) no entorno de uma área protegida, foi definida uma zona de 9 km a partir do limite da área protegida (Françoso *et al.*, 2015). As áreas de massas d'água e as áreas militares⁴ foram somadas às áreas protegidas na zona de 9 km;
14. Desflorestamento (em hectares e percentagem) no entorno das áreas protegidas. Quantificou-se o desflorestamento na zona de 9 km ao redor dessas áreas;
15. Densidade média de queimadas no entorno das áreas protegidas. A partir da superfície de densidade de queimadas, foi calculada a densidade média de queimada para a zona de entorno de 9 km.

ANÁLISES ESTATÍSTICAS

TRANSFORMAÇÃO E PADRONIZAÇÃO DOS DADOS: DESFLORESTAMENTO E VARIÁVEIS ESPACIAIS

Com o intuito de melhorar a distribuição dos valores (normalidade) e de minimizar diferenças elevadas de variância (heterocedasticidade), optou-se por realizar uma transformação das variáveis (Laurance *et al.*, 2001). Procedeu-se a transformação arco seno da raiz quadrada para as informações expressas em percentagem; para as demais informações, optou-se pela transformação logarítmica (Laurance *et al.*, 2001, 2002; Hair Jr. *et al.*, 2014; Françoso *et al.*, 2015). Como as variáveis utilizadas encontravam-se em escalas bem distintas (percentuais, densidades e distâncias), após a

transformação, procedeu-se a padronização das mesmas (média zero e desvio padrão um), pois algumas análises estatísticas, como a análise fatorial, são sensíveis a diferenças entre as variâncias (Souza, 2003; Monteiro & Pinheiro, 2004; Hair Jr. *et al.*, 2014).

ANÁLISES DE CORRELAÇÃO E SELEÇÃO DAS VARIÁVEIS

Para avaliar o grau de relacionamento entre as variáveis levantadas e o desflorestamento, utilizou-se o coeficiente de correlação. Valores de correlação entre 0 e 0,3, positivo ou negativo, indicam uma correlação desprezível (Mukaka, 2012). O cálculo do coeficiente de correlação, bem como a maior parte das análises estatísticas, foi realizado no pacote estatístico Minitab, versão 15 (Minitab, 2017).

A variável que apresentou a maior correlação com o desflorestamento (%) no interior das áreas protegidas foi o desflorestamento (%) no entorno (9 km) das áreas protegidas ($r = 0,742$) (Tabela 3). As variáveis índice de forma, elevação, declividade, precipitação, fertilidade do solo (CTC) e distância dos rios apresentaram fraca correlação com o desflorestamento ($r < 0,3$), logo, foram descartadas das etapas seguintes do estudo. As variáveis correlacionadas ao desflorestamento em hectares, quantidade de área nuclear e percentual de área nuclear, ainda que tenham tido um coeficiente de correlação acima de 0,3, também não foram utilizadas, pois são redundantes com as variáveis correlacionadas ao desflorestamento em percentual, que apresentaram um coeficiente de correlação mais elevado (Tabela 3). Ainda que a correlação entre o desflorestamento percentual e as áreas protegidas no entorno em hectares tenha sido ligeiramente superior ($r = -0,442$), optou-se por utilizar as áreas protegidas no entorno em percentual ($r = -0,400$). Assim sendo, todas as áreas foram

⁴ As áreas militares foram obtidas na base de dados georreferenciados elaborada pelo Instituto Socioambiental (ISA) no ano de 1999 para o Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO).

Tabela 3. Coeficientes de correlação entre o desflorestamento, em percentual (%) e em hectares (ha), e as variáveis levantadas para as áreas protegidas da Amazônia Legal.

Variáveis	Desflorestamento (%)	Desflorestamento (ha)
Quantidade de área nuclear (ha)	-0,540	0,516
Percentual de área nuclear	-0,548	0,472
Índice de forma	-0,067	0,249
Elevação	-0,113	0,103
Declividade	0,024	0,167
Precipitação (agosto)	-0,184	-0,103
Fertilidade do solo (CTC)	-0,078	-0,035
Densidade de queimadas	0,494	0,075
Distância das queimadas	-0,651	0,055
Distância das cidades	-0,639	0,188
Distância das estradas	-0,574	0,105
Distância dos rios	-0,188	0,240
Áreas protegidas no entorno (ha)	-0,442	0,214
Áreas protegidas no entorno (%)	-0,400	0,037
Desflorestamento no entorno (ha)	0,384	0,565
Desflorestamento no entorno (%)	0,742	0,131
Densidade de queimadas no entorno	0,457	0,104

expressas em percentual, pois foi constatado ser esta a melhor forma de analisar as variáveis.

Ao final, foram selecionadas oito variáveis para as sequências das análises: percentual de área nuclear (AreaNuclear); densidade de queimadas (DensQueima); distância das queimadas (DistQueima); distância das cidades (DistCidade); distância das estradas (DistEstrada); desflorestamento no entorno (%) (Desflor9km); densidade de queimadas no entorno (DenQueim9km); e áreas protegidas no entorno (%) (AreaProt9km). Para todas as variáveis selecionadas, o coeficiente de correlação foi significativo em nível de significância de 95% (Tabela 3).

AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS SELECIONADAS

A adequabilidade do conjunto de variáveis selecionadas à realização da análise fatorial foi avaliada através dos

seguintes procedimentos: matriz de correlação, pois a análise fatorial exige que as variáveis possuam certo grau de correlação (Monteiro & Pinheiro, 2004); método de Kayser-Mayer-Olkin (KMO), que compara coeficientes de correlação observados com os coeficientes de correlação parcial (Monteiro & Pinheiro, 2004); e teste de esfericidade de Bartlett (*Bartlett's Test of Sphericity* - BTS), que verifica se matriz de correlação é uma matriz de identidade, ou seja, se não existe correlação entre as variáveis (Melo & Parré, 2007). Os métodos KMO e BTS foram realizados no pacote estatístico SPSS, versão 15 (Landau & Everitt, 2004). As variáveis apresentaram um bom grau de correlação ($r > 0,3$), sendo adequadas à análise fatorial (Tabela 4). O valor KMO alto (0,844), considerado excelente (Melo & Parré, 2007), e o resultado significativo do BTS ($p < 0,001$) ratificaram a adequabilidade das variáveis selecionadas para a realização da análise fatorial.

Tabela 4. Matriz de correlação das variáveis selecionadas para as áreas protegidas da Amazônia Legal.

	Percentual de área nuclear	Densidade de queimadas	Distância das queimadas	Distância das cidades	Distância das estradas	Desflorestamento no entorno (%)	Densidade de queimadas no entorno
Densidade de queimadas	-0,434						
Distância das queimadas	0,596	-0,820					
Distância das cidades	0,704	-0,533	0,608				
Distância das estradas	0,555	-0,597	0,644	0,603			
Desflorestamento no entorno (%)	-0,514	0,736	-0,738	-0,659	-0,697		
Densidade de queimadas no entorno	-0,377	0,975	-0,757	-0,485	-0,584	0,724	
Áreas protegidas no entorno (%)	0,376	-0,537	0,571	0,446	0,434	-0,572	-0,507

ANÁLISE FATORIAL

Com base no número de variáveis utilizadas (oito), optou-se pela extração de dois fatores (Menezes *et al.*, 1978), que foi realizada por meio dos componentes principais (Johnson & Wichern, 2007), posteriormente rotacionados pelo método VARIMAX (Hair Jr. *et al.*, 2014), procedimentos utilizados em diversos trabalhos (Soares *et al.*, 1999; Monteiro & Pinheiro, 2004; Melo & Parré, 2007; Rezende *et al.*, 2007; Rosado *et al.*, 2009; Stege & Parré, 2013). A extração dos fatores, com a consequente determinação das cargas fatoriais das variáveis e dos escores fatoriais das observações, foi realizada por meio do Minitab.

Os escores fatoriais possuem distribuição normal, com média zero e variância um, indicando a posição relativa de cada observação em relação ao conceito expresso pelo fator (Monteiro & Pinheiro, 2004). A partir dos valores dos escores dos fatores, foi elaborada uma síntese através da média ponderada pela variância. Logo, o fator com a maior variância teve um maior peso na determinação da síntese dos fatores. A síntese fatorial (SF) para cada observação (áreas protegidas) foi obtida através da seguinte equação:

$$(2) \quad SF_i = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i EF_i}{\sum_{i=1}^n \sigma_i}$$

Onde:

EF_i = valor original dos escores fatoriais,

σ_i = variância dos fatores,

i = fatores extraídos.

Soares *et al.* (1999) descreveram uma equação para a interpolação de valores para o intervalo de zero a 100, adaptada para a síntese dos fatores ($SF_{i(0-100)}$):

$$(3) \quad SF_{i(0-100)} = \frac{SF_i - SF_{i(mín)}}{SF_{i(máx)} - SF_{i(mín)}} \times 100$$

Onde:

SF_i = valor original da síntese fatorial,

$SF_{i(mín)}$ = menor valor da síntese fatorial,

$SF_{i(máx)}$ = maior valor da síntese fatorial.

TESTES ESTATÍSTICOS E AGRUPAMENTO DE VALORES

Como nem todos os grupos analisados apresentaram valores de síntese fatorial interpolada com distribuição normal



(teste de Kolmogorov-Smirnov), nem homogeneidade de variâncias (teste de Levene), condições indispensáveis para a realização de uma análise de variância (ANOVA), os valores de síntese fatorial interpolada foram comparados por meio do teste de Kruskal-Wallis (não paramétrico), com a comparação aos pares realizada através do teste de Dunn (Zar, 2010). Para a realização dos testes de Kolmogorov-Smirnov e de Levene, bem como para o cálculo das demais estatísticas dos valores de síntese fatorial interpolada, foi utilizado o pacote estatístico Minitab, enquanto que os testes de Kruskal-Wallis e de Dunn (com correção para comparações múltiplas) foram aplicados através do programa estatístico Past, versão 3 (Hammer, 2019). Todos os testes estatísticos foram realizados utilizando-se o nível de confiança de 95%.

As áreas protegidas foram, por fim, agregadas em três categorias, em função do valor da síntese fatorial interpolada: alta, média e baixa. No agrupamento das áreas protegidas, foi utilizado o método denominado de 'quebras naturais' ('*jenks*'). A função quebras naturais identifica pontos de quebra com base na variância, escolhendo as quebras de classe que melhor agrupam valores próximos (menor variância), maximizando as diferenças entre as classes (maior variância) (ESRI, 2007; QGIS Project, 2017).

RESULTADOS

Analisando o desflorestamento por grupo de área protegida, verificou-se que UC-US2 apresentou o maior percentual (Figura 4A). Com relação às demais variáveis selecionadas, o grupo UC-US2 apresentou: menor percentual de área nuclear (Figura 4B); maior densidade de queimada (Figura 4C), ainda que bem próxima de UC-US1; menores distâncias em relação a queimadas (Figura 4D), cidades (Figura 4E) e estradas (Figura 4F); maior percentual de desflorestamento no entorno (Figura 4G); e menor percentual de área protegida no entorno (Figura 4I). A única das oito variáveis selecionadas que, em teoria, estão mais relacionadas ao desflorestamento na qual UC-US2 não se destacou foi a

densidade de queimada no entorno (Figura 4H), ficando em segundo lugar, um pouco menor do que UC-US1.

ANÁLISE FATORIAL

As cargas fatoriais por variáveis, assim como os valores de variância acumulada são apresentados na Tabela 5. Na coluna 'comum', estão os valores de comunalidades, que são proporções das variâncias de cada variável explicada pelos fatores comuns (Hair Jr. *et al.*, 2014). O resultado da extração dos fatores foi considerado muito bom, pois 77,4% da variância de oito variáveis foi concentrada em apenas dois fatores, com todas as comunalidades com valores praticamente acima de 0,5 (Faria *et al.*, 2019) (Tabela 5).

Avaliando os fatores um (1) e dois (2), verifica-se que o fator 1 tem mais variáveis associadas com uso da terra (agropecuária), enquanto que o fator 2 tem mais variáveis relacionadas com acesso às áreas (acessibilidade) (Tabela 5). Observando-se a Tabela 5, percebe-se claramente que as variáveis mais diretamente relacionadas ao desflorestamento (desflorestamento no entorno e queimadas dentro e no entorno) têm cargas negativas nos dois fatores, enquanto que as variáveis inversamente relacionadas ao desflorestamento (área protegida no entorno, área nuclear e distâncias de queimadas, estradas e cidades) têm cargas positivas nos dois fatores (Figura 5). Logo, pensando nos dois fatores combinados, quanto menor for o escore fatorial da área protegida, maior será a suscetibilidade ao desflorestamento. Valores de escore fatorial altos estão relacionados a uma menor suscetibilidade ao desflorestamento.

Para cada área protegida, procedeu-se a média dos escores dos fatores 1 e 2, ponderada pela variância de cada fator, o que foi denominado de síntese fatorial (SF). Como a variância do fator 1 (agropecuária) é maior (Tabela 5), ele teve maior peso na definição da síntese fatorial. Posteriormente, a síntese fatorial foi interpolada, fazendo com que os seus valores variassem de zero (mínimo) a 100 (máximo). As estatísticas da síntese fatorial interpolada por classe de área protegida são apresentadas na Tabela 6.

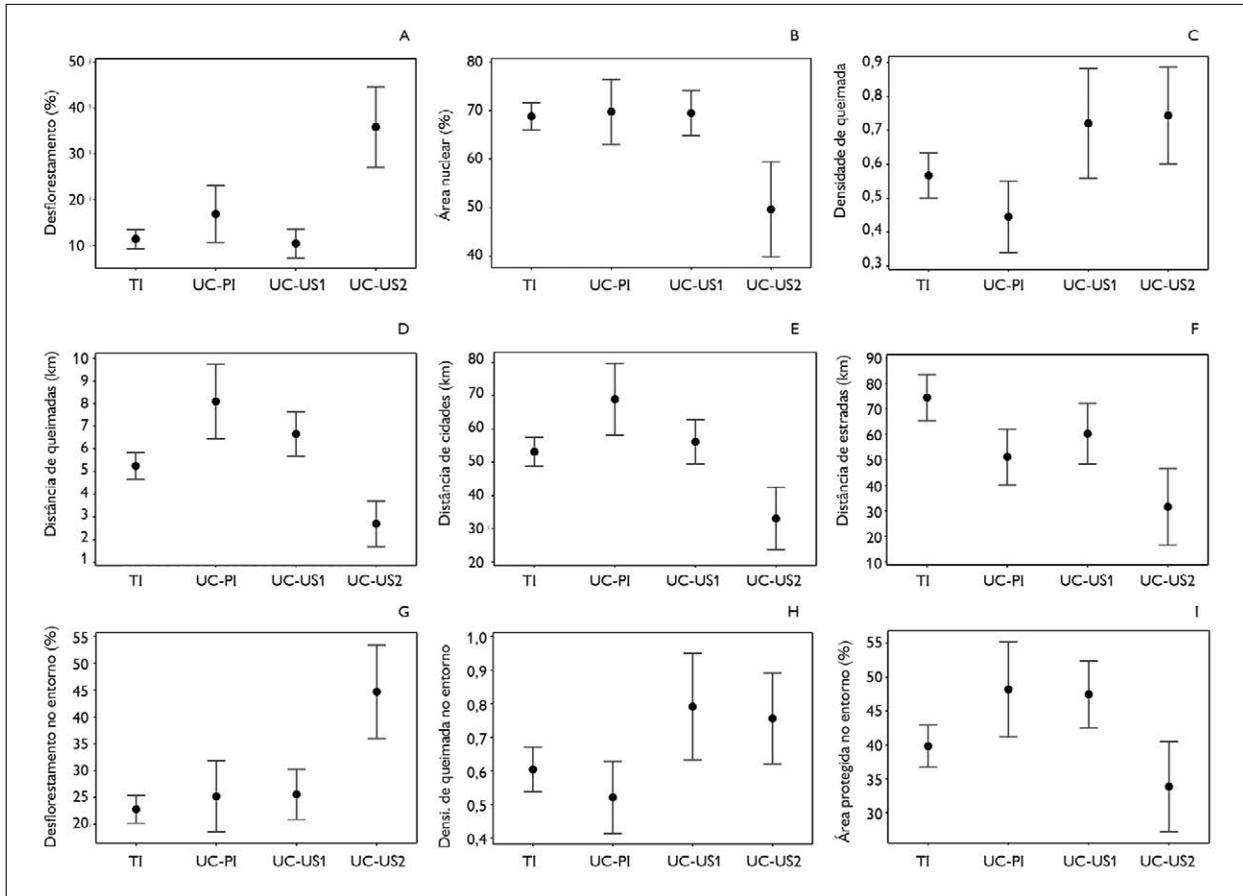


Figura 4. Grupos de áreas protegidas na Amazônia Legal - TI, UC-PI, UC-US1 e UC-US2: A) desflorestamento percentual; B) percentual de área nuclear; C) densidade de queimada; D) distância de queimadas; E) distância de cidades; F) distância de estradas; G) percentual de desflorestamento no entorno; H) densidade de queimada no entorno; I) percentual de área protegida no entorno.

Tabela 5. Resultado da extração fatorial das variáveis selecionadas para as áreas protegidas da Amazônia Legal.

Variável	Fator 1 (agropecuária)	Fator 2 (acessibilidade)	Comum
Densidade de queimadas no entorno	-0,940	-0,179	0,915
Densidade de queimadas	-0,934	-0,241	0,931
Desflorestamento no entorno (%)	-0,721	-0,506	0,776
Distância de queimadas	0,759	0,482	0,808
Áreas protegidas no entorno (%)	0,607	0,321	0,472
Percentual de área nuclear	0,179	0,895	0,834
Distância de cidades	0,330	0,834	0,805
Distância de estradas	0,521	0,620	0,656
Autovalores	3,632	2,563	6,195
Variância (%)	0,454	0,320	0,774

O grupo com a menor média da síntese fatorial interpolada foi UC-US2 (Tabela 6 e Figura 6). Desta forma, é esperado que UC pertencentes a este grupo sejam mais susceptíveis ao desflorestamento. Neste grupo de UCUS, estão incluídas as seguintes

categorias de domínio público e/ou privado: Área de Proteção Ambiental (APA), Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN).

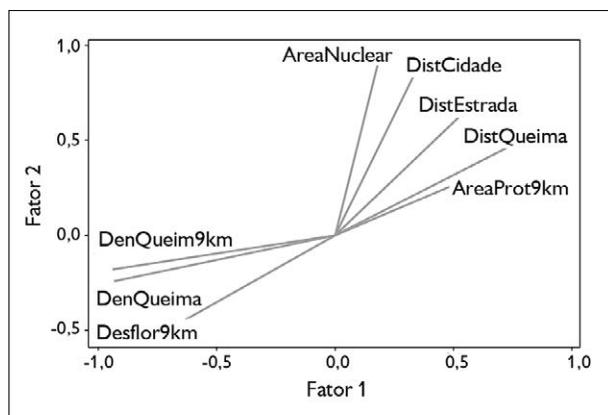


Figura 5. Cargas fatoriais das variáveis fator 1 x fator 2 para as áreas protegidas da Amazônia Legal.

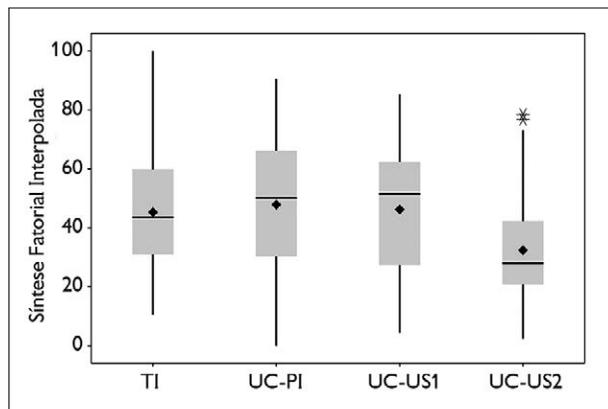


Figura 6. Valores da síntese fatorial interpolada para as áreas protegidas da Amazônia Legal.

TESTES ESTATÍSTICOS E AGRUPAMENTO DE VALORES

Com exceção do grupo UC-PI, os valores de síntese fatorial interpolada não apresentavam distribuição normal (teste de Kolmogorov-Smirnov - KS, $p < 0,01$) (Tabela 6), além de não apresentarem homogeneidade de variâncias (teste de Levene, $p = 0,004$), sendo, portanto, comparados por meio do teste de Kruskal-Wallis. Com base no resultado do teste ($p < 0,001$), rejeitou-se a hipótese de todos os valores de síntese fatorial interpolada serem iguais.

Utilizou-se, então, o teste de Dunn para comparação aos pares. A partir do resultado do teste, verificou-se que o valor da síntese fatorial interpolada do grupo UC-US2 era diferente estatisticamente dos demais grupos de áreas protegidas ($p < 0,001$); e, ainda, que não havia diferença significativa entre a síntese fatorial interpolada dos demais grupos ($p = 1,000$) (Tabela 7 e Figura 6). Estes resultados ratificaram maior suscetibilidade ao desflorestamento do grupo UC-US2, em relação aos demais grupos de áreas protegidas.

Os valores de síntese fatorial interpolada foram, então, agrupados em três categorias: alta, média e baixa. A distribuição espacial das classes de síntese fatorial interpolada para as áreas protegidas da Amazônia Legal pode ser observada na Figura 7. Pôde-se observar que os

Tabela 6. Estatísticas para a síntese fatorial interpolada para grupos de áreas protegidas da Amazônia Legal.

Classe	Número de áreas	Média	Desvio padrão	Mediana	Mínimo	Máximo	Estatística KS	KS Valor-P
TI	364	45,24	18,06	43,46	10,59	100,00	0,082	< 0,01
UC-PI	93	47,82	22,38	50,12	0,00	90,39	0,072	> 0,15
UC-US1	156	46,16	21,04	51,51	4,42	85,16	0,107	< 0,01
UC-US2	56	32,32	17,46	27,91	2,47	78,42	0,156	< 0,01

valores mais baixos estão localizados preferencialmente na área de maior ocupação, denominada de 'arco do desmatamento', nitidamente associados a maior intensidade das atividades agropecuárias (fator 1 - agropecuária). Na Tabela 8, são apresentados os intervalos de valores de síntese fatorial interpolada para cada uma das três categorias, bem como a categoria de suscetibilidade ao desflorestamento a elas associadas.

O número de áreas protegidas por grupo e por categoria de suscetibilidade ao desflorestamento é apresentado na Tabela 9. No conjunto total das áreas protegidas, de uma forma geral, observou-se distribuição relativamente equilibrada entre as categorias de suscetibilidade, sendo a baixa suscetibilidade um pouco menor (Tabela 9, total em %).

Tabela 7. Teste de Dunn: valor-p (corrigido) para os pares de comparação de valores de síntese fatorial interpolada para grupos de áreas protegidas da Amazônia Legal.

	TI	UC-PI	UC-US1
UC-PI	1,000		
UC-US1	1,000	1,000	
UC-US2	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Tabela 8. Relação entre síntese dos fatores interpolada e suscetibilidade ao desflorestamento para grupos de áreas protegidas da Amazônia Legal.

Síntese dos fatores interpolada	Intervalos de valores	Suscetibilidade ao desflorestamento
Alta	57,36-100,00	Baixa
Média	34,49-57,35	Média
Baixa	0,00-34,48	Alta

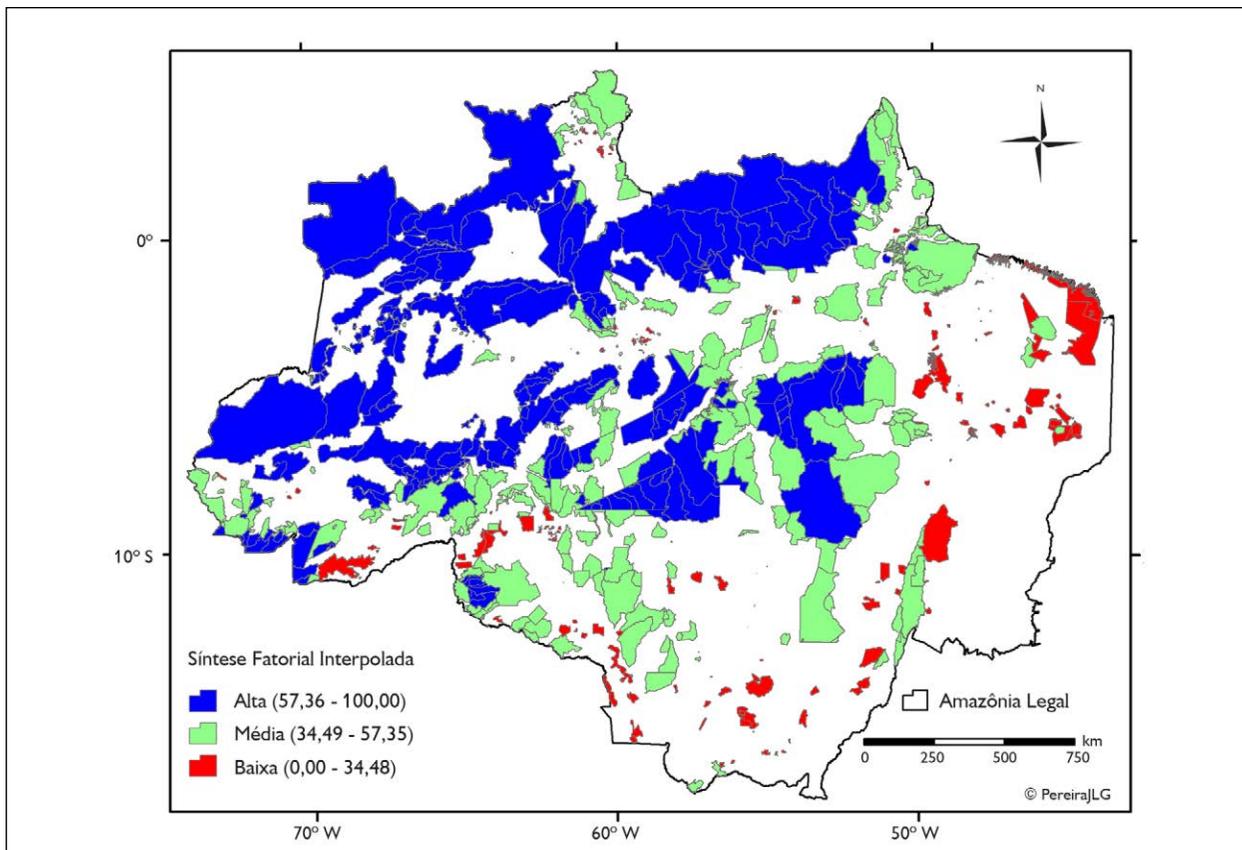


Figura 7. Distribuição espacial das classes de síntese fatorial interpolada, para as áreas protegidas da Amazônia Legal. Mapa: Jorge L. G. Pereira (2019).

Tabela 9. Categorias de suscetibilidade ao desflorestamento por grupos de áreas protegidas na Amazônia Legal.

Suscetibilidade ao desflorestamento	TI	UC-PI	UC-US1	UC-US2	Número total	Total (%)
Baixa	104	34	54	6	198	29,6
Média	138	34	51	11	234	35,0
Alta	122	25	51	39	237	35,4
Total	364	93	156	56	669	100

Entre os grupos de áreas protegidas, a categoria 'alta suscetibilidade ao desflorestamento' é predominante apenas no grupo UC-US2, representando mais de dois terços das áreas (69,6%). Para os grupos TI e UC-US1, a categoria 'alta suscetibilidade ao desflorestamento' representa aproximadamente um terço das áreas (33,5% e 32,7%, respectivamente). O grupo que possui proporcionalmente menos áreas com 'alta suscetibilidade ao desflorestamento' é UC-PI (26,9%) (Figura 8).

DISCUSSÃO

Tudo leva a crer que a maior susceptibilidade do grupo UC-US2 ao desflorestamento (Figura 8) tem ocasionado maiores percentuais de desflorestamento deste grupo de UC-US (APA, ARIE e RPPN), quando comparado aos demais grupos de áreas protegidas (Figura 4A).

Em geral, os melhores preditores de desflorestamento estão relacionados com: população, como tamanho e/ou densidade rural e/ou urbana (Laurance *et al.*, 2002; Arraes *et al.*, 2012); acessibilidade, como quantidade de estradas e/ou distância das cidades (Pfaff, 1999; Laurance *et al.*, 2002); e, por fim, com a produção agropecuária, como rebanho bovino, projetos subsidiados e PIB agropecuário (Andersen & Reis, 1997; Pfaff, 1999; Arraes *et al.*, 2012). Neste estudo, as variáveis que melhor explicaram o desflorestamento das áreas protegidas estavam mais relacionadas com agropecuária (fator 1 - densidade de queimadas, densidade de queimadas no entorno, desflorestamento no entorno e distância das queimadas) e um pouco menos com acessibilidade (fator 2 - distância das cidades e distância das

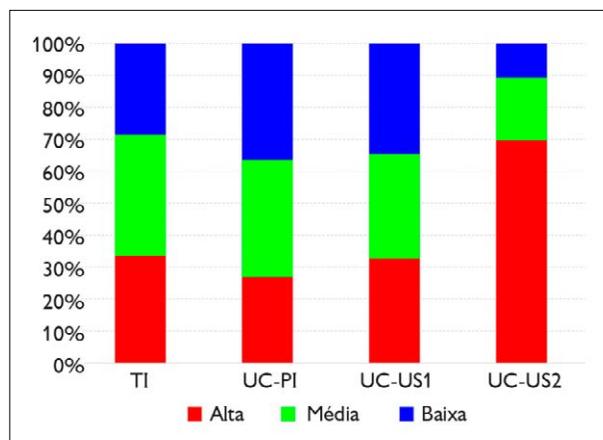


Figura 8. Percentual de categorias de suscetibilidade por grupos de áreas protegidas na Amazônia Legal.

estradas). O desflorestamento no entorno como variável de maior relação com o desflorestamento das áreas protegidas é uma clara característica da inércia espacial do desflorestamento (Alves, 2002; Margulis, 2004).

As variáveis índice de forma, elevação, declividade, precipitação, fertilidade do solo e distância dos rios foram descartadas por não terem sido boas predictoras do desflorestamento das áreas protegidas (correlação < 0,3). A variável distância dos rios já tinha sido reportada por Laurance *et al.* (2002) como de pouca importância para a explicação do desflorestamento. Pfaff (1999) relacionou uma melhor qualidade do solo com o aumento do desflorestamento. No entanto, no trabalho de Laurance *et al.* (2002) e no presente artigo, a qualidade do solo teve pouca importância para a explicação do desflorestamento. Em Laurance *et al.* (2002), a intensidade da estação seca foi o terceiro fator mais importante para explicar o

desflorestamento. No presente artigo, a precipitação no mês de agosto, mês mais seco da Amazônia, apresentou baixa correlação com o desflorestamento.

De acordo com Nolte *et al.* (2013), as UC-US possuem percentuais maiores de desflorestamento do que as UC-PI, em parte devido às UC-US estarem em locais de maior pressão de ocupação. Nolte *et al.* (2013) não incluíram as APA nas UC-US, com a justificativa de que as APA são constituídas de terras privadas sem restrições significativas ao uso. Ou seja, a categoria UC-US de Nolte *et al.* (2013) equivaleria ao grupo UC-US1 deste estudo. Diferente do que foi observado por esses autores, o resultado do corrente estudo não verificou diferença de susceptibilidade ao desflorestamento entre os grupos UC-PI e UC-US1. A diferença entre o resultado de Nolte *et al.* (2013) e o deste estudo pode estar relacionada aos períodos estudados, pois eles analisaram o desflorestamento no período 2000-2005, enquanto que neste estudo foi analisado todo o desflorestamento acumulado até o ano de 2017.

Diferentemente de Nolte *et al.* (2013), que simplesmente excluíram as APA das UC-US, ou de França *et al.* (2015), que juntaram todas as categorias de UC-US em uma única classe, no corrente estudo as APA foram mantidas, mas houve o cuidado de se criar dois grupos de UC-US: UC-US1, constituído por áreas de domínio somente público (RESEX, RDS e Floresta), e UC-US2, constituído por áreas de domínio público e/ou privado (APA, ARIE e RPPN). Com essa separação, ficou bem claro que o grupo UC-US2 tem o maior percentual de áreas com alta susceptibilidade ao desflorestamento, quando comparado aos demais grupos (Figura 8). Caso não tivessem sido criados dois grupos de UC-US (UC-US1 e UC-US2), possivelmente o grupo UC-US teria a maior susceptibilidade ao desflorestamento, levando à incorreta conclusão de que as todas as categorias de UC-US são mais susceptíveis ao desflorestamento do que as UC-PI, quando na verdade apenas as UC-US de domínio público e/ou privado (APA, ARIE e RPPN) são mais susceptíveis ao desflorestamento.

CONCLUSÃO

A informação espacial levantada que apresentou a maior correlação com o desflorestamento dentro das áreas protegidas foi o desflorestamento no entorno das áreas protegidas, o que reforça o papel do desflorestamento como impulsionador de outros fenômenos desta natureza, ou seja, a sua grande dependência espacial.

As áreas protegidas com valores mais elevados de susceptibilidade ao desflorestamento (baixos valores de síntese fatorial) ocorreram principalmente na região de mais intensa ocupação agropecuária (arco do desmatamento). O grupo UC-US2, que inclui a categoria APA, apresentou o maior percentual de áreas com alta susceptibilidade ao desflorestamento. Na região de maior pressão por ocupação (maior susceptibilidade ao desflorestamento), foi observado percentual maior de categorias de UC-US, que possuem as menores restrições de uso (APA, ARIE e RPPN), possivelmente com a intenção de explorar ao máximo essas áreas.

A APA é uma categoria de UC-US integrante do SNUC que está presente na base de dados de UC do Brasil, por isso ela deve ser mantida nos estudos de eficácia das UC na conservação das áreas naturais, tendo-se o cuidado de separar as categorias UC-US de domínio público (RESEX, RDS, Floresta e REFAU) das categorias de domínio público/privado (APA, ARIE e RPPN). Caso as APA tivessem sido removidas sumariamente deste estudo, o resultado, possivelmente, seria que não haveria diferença entre os valores de pressão de desflorestamento para os grupos de áreas protegidas, e não se teria verificado que as APA (grupo UC-US2 deste estudo) estão sendo criadas preferencialmente nas áreas de maior pressão de desflorestamento.

AGRADECIMENTOS

Aos avaliadores anônimos deste artigo, que, com as correções e sugestões, contribuíram para melhorar o documento inicialmente elaborado.



REFERÊNCIAS

- ALVES, D. S., 2002. Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazônia. **International Journal of Remote Sensing** 23(14): 2903-2908. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431160110096791>.
- ANDERSEN, L. E. & E. R. REIS, 1997. **Deforestation development and government policy in the Brazilian Amazon**: an econometric analysis: 1-28. IPEA (Textos para Discussão, 513), Rio de Janeiro.
- ARRAES, R. A., F. Z. MARIANO & A. G. SIMONASSI, 2012. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural** 50(1): 119-140. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032012000100007>.
- BECKER, B. K., 2005. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados** 19(53): 71-86. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000100005>.
- BRUNER, A. G., R. E. GULLISON, E. RAYMOND, E. R. RICHARD & G. A. B. FONSECA, 2001. Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. **Science** 291(5501): 125-128. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.291.5501.125>.
- CÂMARA, G. & M. S. CARVALHO, 2004. Análise espacial de eventos. In: S. DRUCK, M. S. CARVALHO, G. CÂMARA & A. V. M. MONTEIRO (Ed.): **Análise espacial de dados geográficos**: 55-75. EMBRAPA, Planaltina.
- CAMARGO, O. A., B. RAJ & J. M. A. S. VALADARES, 1982. Avaliação da capacidade de troca de cátions em solos utilizando o método do tampão SMP **Bragantia** 41(1): 119-123. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051982000100012>.
- CROSIER, S., B. BOOTH, K. DALTON, A. MITCHELL & K. CLARK, 2005. **ArcGIS 9: getting started with ArcGIS**: 1-265. Esri, Redlands.
- ELKIE, P. C., R. S. REMPEL & A. CARR, 1999. **Patch analyst user's manual**: a tool for quantifying landscape structure: 1-22. Northwest Science & Technology (NWS Technical Manual TM-002), Thunder Bay. Disponível em: <https://www.yumpu.com/en/document/view/29088001/patch-analyst-users-manual>. Acesso em: 14 abril 2019.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI), 2007. **ArcGIS 9.2 Desktop Help**: natural breaks (Jenks). Disponível em: http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?topicname=natural_breaks_%28jenks%29. Acesso em: 28 março 2019.
- FARIA, W. R., A. A. BETARELLI JÚNIOR & R. L. G. MONTENEGRO, 2019. Multidimensional characteristics and deforestation: an analysis for the Brazilian Legal Amazon. **Quality & Quantity** 53(4): 1959-1979. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11135-019-00850-4>.
- FARR, T. G., P. A. ROSEN, E. CARO, R. CRIPPEN, R. DUREN, S. HENSLEY, M. KOBRICK, M. PALLER, E. RODRIGUEZ, L. ROTH, D. SEAL, S. SHAFFER, J. SHIMADA, J. UMLAND, M. WERNER, M. OSKIN, D. BURBANK & D. ALSDORF, 2007. The Shuttle Radar Topography Mission. **Reviews of Geophysics** 45(2): RG2004. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>.
- FEARNSIDE, P. M., 1996. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. **Forest Ecology and Management** 80(1-3): 21-34. DOI: [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(95\)03647-4](https://doi.org/10.1016/0378-1127(95)03647-4).
- FEARNSIDE, P. M., 2005. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. **Conservation Biology** 19(3): 680-688. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x>.
- FERREIRA, L. V., E. VENTICINQUE & S. ALMEIDA, 2005. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados** 19(53): 157-166. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000100010>.
- FICK, S. E. & R. J. HIJLMANS, 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology** 37(12): 4302-4315. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.5086>.
- FOLEY, J. A., G. P. ASNER, M. H. COSTA, M. T. COE, R. DEFRIES, H. K. GIBBS, E. A. HOWARD, S. OLSON, J. PATZ, N. RAMANKUTTY & P. SNYDER, 2007. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. **Frontiers in Ecology and the Environment** 5(1): 25-32. DOI: [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[25:ARFDAL\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[25:ARFDAL]2.0.CO;2).
- FRANÇOSO, R. D., R. BRANDÃO, C. C. NOGUEIRA, Y. B. SALMÔNA, R. B. MACHADO & G. R. COLLI, 2015. Habitat loss and the effectiveness of protected areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. **Natureza & Conservação** 13(1): 35-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ncon.2015.04.001>.
- FUNDAÇÃO NACIONAL DO ÍNDIO (FUNAI), 2018. **GeoProcessamento**: Shape - Terra Indígena (regularizada, homologada, declarada, delimitada e área em estudo). Disponível em: <http://www.funai.gov.br/index.php/shape>. Acesso em: 4 novembro 2018.
- GIAM, X., 2017. Global biodiversity loss from tropical deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** 114(23): 5775-5777. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1706264114>.
- HAIR JR., J. F., W. C. BLACK, B. J. BABIN & R. E. ANDERSON, 2014. **Multivariate data analysis**: 7. ed.: 1-734. Pearson, Edinburgh.
- HAMMER, Ø., 2019. **PAST - PAleontological STatistics - Reference manual (Version 3.23)**: 1-271. University of Oslo/Natural History Museum, Oslo.
- HENGL, T., J. M. JESUS, G. B. M. HEUVELINK, M. R. GONZALEZ, M. KILIBARDA, A. BLAGOTIĆ, W. SHANGGUAN, M. N. WRIGHT, X. GENG, B. BAUER-MARSCHALLINGER, M. A. GUEVARA, R. VARGAS, R. A. MACMILLAN, N. H. BATJES, J. G. B. LEENAARS, E. RIBEIRO, I. WHEELER, S. MANTEL & B. KEMPEN, 2017. SoilGrids250m: global gridded soil information based on machine learning. **PLoS ONE** 12(2): e0169748. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748>.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), 2011. **Geoestatísticas de recursos naturais da Amazônia Legal - 2003**: 1-249. IBGE/CREN (Estudos & Pesquisas - Informação Geográfica, 8), Rio de Janeiro.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), 2018a. **Prodes Digital**: mosaicos de 2017 - Amazônia Legal (PDigital2000_2017_AMZ_gtif.zip). Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/dadosn/mosaicos/2017>. Acesso em: 14 abril 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), 2018b. **Programa Queimadas**: banco de dados de queimadas. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>. Acesso em: 17 janeiro 2019.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), 2019. **PRODES - Amazônia**: monitoramento do desmatamento da floresta amazônica brasileira por satélite. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>. Acesso em: 26 julho 2019.
- JOHNSON, R. A. & D. W. WICHERN, 2007. **Applied multivariate statistical analysis**: 6. ed.: 1-773. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River.
- LANDAU, S. & B. S. EVERITT, 2004. **A handbook of statistical analyses using SPSS**: 1-335. Chapman & Hall/CRC Press LLC, Boca Raton.
- LAURANCE, W. F., A. K. M. ALBERNAZ & C. D. COSTA, 2001. Is deforestation accelerating in the Brazilian Amazon? **Environmental Conservation** 28(4): 305-311. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0376892901000339>.
- LAURANCE, W. F., A. K. M. ALBERNAZ, G. SCHROTH, P. M. FEARNSIDE, S. BERGEN, E. M. VENTICINQUE & C. COSTA, 2002. Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon. **Journal of Biogeography** 29(5-6): 737-748. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2699.2002.00721.x>.
- MARGULIS, S., 2004. **Causes of deforestation of the Brazilian Amazon**: 1-77. World Bank (World Bank Working Paper, n. 22), Washington.
- MELO, C. O. & J. L. PARRÉ, 2007. Índice de desenvolvimento rural dos municípios paranaenses: determinantes e hierarquização. **Revista de Economia e Sociologia Rural** 45(2): 329-365. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032007000200005>.
- MENEZES, A. C. F., S. FAISSOL & M. L. FERREIRA, 1978. Análise da matriz geográfica: estruturas e inter-relações. In: S. FAISSOL (Org.): **Tendências atuais na geografia urbano/regional**: teorização e quantificação: 67-109. IBGE, Rio de Janeiro.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), 2011. **SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006) - Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas (Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006)**: 1-76. MMA/SBF, Brasília.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), 2018a. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) e Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) - Fase 2016-2020**: 1-92. MMA/SMCF, Brasília.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), 2018b. **Download de dados geográficos**: áreas especiais - Unidades de Conservação. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 10 outubro 2018.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), 2018c. **Download de dados geográficos**: limites políticos e localidades - limites administrativos - localidades. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 10 outubro 2018.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), 2018d. **Download de dados geográficos**: base cartográfica - transporte - rodovias - PNLT. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em: 10 outubro 2018.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA), 2018e. **Áreas prioritárias**: principais rios (arcos); principais rios (polígonos). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/component/k2/item/7635.html?Itemid=935>. Acesso em: 27 novembro 2018.
- MINITAB, 2017. **Introdução ao Minitab 18**: 1-74. Minitab Inc., State College.
- MONTEIRO, V. P. & J. C. V. PINHEIRO, 2004. Critério para implantação de tecnologias de suprimentos de água potável em municípios cearenses afetados pelo alto teor de sal. **Revista de Economia e Sociologia Rural** 42(2): 365-387. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032004000200009>.
- MUKAKA, M. M., 2012. A guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research. **Malawi Medical Journal** 24(3): 69-71.
- NAGENDRA, H., 2008. Do parks work? Impact of protected areas on land cover clearing. **AMBIO: A Journal of the Human Environment** 37(5): 330-337. DOI: <https://doi.org/10.1579/06-R-184.1>.
- NOBRE, C. A., G. SAMPAIO, L. S. BORMA, J. C. CASTILLA-RUBIO, J. S. SILVA & M. CARDOSO, 2016. Land-use and climate change risks in the Amazon and the need of a novel sustainable development paradigm. **Proceedings National Academy of Sciences of the United States of America** 113(39): 10759-10768. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1605516113>.
- NOGUEIRA, E. M., A. M. YANAI, F. O. R. FONSECA & P. M. FEARNSIDE, 2015. Carbon stock loss from deforestation through 2013 in Brazilian Amazonia. **Global Change Biology** 21(3): 1271-1292. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12798>.
- NOLTE, C., A. AGRAWAL, K. M. SILVIUS & B. S. SOARES FILHO, 2013. Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America** 110(13): 4956-4961. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1214786110>.

- PFAFF, A. S. P., 1999. What drives deforestation in the Brazilian Amazon? Evidence from satellite and socioeconomic data. **Journal of Environmental Economics and Management** 37(1): 26-43. DOI: <https://doi.org/10.1006/jeeem.1998.1056>.
- PRATES, R. C. & C. J. C. BACHA, 2011. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. **Economia e Sociedade** 20(3): 601-636. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0104-06182011000300006>.
- QGIS PROJECT, 2017. **QGIS user guide**: versão 2.14: 1-418. QGIS Development Team, Gossau.
- REZENDE, M. L., L. P. S. FERNANDES & A. M. RODRIGUES E SILVA, 2007. Utilização da análise fatorial para determinar o potencial de crescimento econômico em uma região do Sudeste do Brasil. **Revista Economia e Desenvolvimento** 19: 92-109.
- ROSADO, P. L., M. V. ROSSATO & J. E. LIMA, 2009. Análise do desenvolvimento socioeconômico das microrregiões de Minas Gerais. **Revista Econômica do Nordeste** 40(2): 297-310.
- SANTOS, P. R. A. & L. M. T. OLIVEIRA, 2003. Processamento digital de imagens realizado no IBGE. **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto** 11: 2123-2128.
- SKOLE, D. & C. TUCKER, 1993. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988. **Science** 260(5116): 1905-1910. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.260.5116.1905>.
- SOARES, A. C. L. G., A. M. P. M. GOSSON, M. A. L. H. MADEIRA & V. D. S. TEIXEIRA, 1999. Índice de Desenvolvimento Municipal: hierarquização dos municípios do Ceará no ano de 1997. **Revista Paranaense de Desenvolvimento** 97: 71-89.
- SOUZA, A. L., 2003. **Análise fatorial**: uma introdução: 1-43. UFV/DEF, Viçosa.
- STEGE, A. L. & J. L. PARRÉ, 2013. Fatores que determinam o desenvolvimento rural nas microrregiões do Brasil. **Confins** 19. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.8640>.
- SYMES, W. S., D. P. EDWARDS, J. MIETTINEN, F. E. RHEINDT & L. R. CARRASCO, 2018. Combined impacts of deforestation and wildlife trade on tropical biodiversity are severely underestimated. **Nature Communications** 9: 4052. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-06579-2>.
- ZAR, J. H., 2010. **Biostatistical analysis**: 5. ed.: 1-944. Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River.

