



Padrões de desmatamento e estágios da fronteira agropecuária sul – amazônica

Joiada Moreira da Silva Linhares¹, Bruno Motta Monteiro², Wanderley Rodrigues Bastos³

¹Instituto Federal de Educação de Rondônia (IFRO) Campus Cacoal, Doutorado e Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. joiada.silva@ifro.edu.br

²Instituto Federal de Educação do Amazonas (IFAM) Campus Lábrea, Doutorado em Ciências Sociais. bruno.monteiro@ifam.edu.br

³Universidade Federal de Rondônia (UNIR) Campus Porto Velho, Doutorado em Ciências Biológicas (Biofísica Ambiental). bastoswr@unir.br

Recebido em: 08/07/2022

Aceito em: 06/12/2022

Resumo

A Bacia Hidrográfica do Rio Pacιά (BHRP), inserida na fronteira agropecuária sul-amazônica, apresentou, entre 1980 e 2020, um acelerado processo de mudança de uso e ocupação humana da terra. O presente estudo foi realizado com o objetivo de identificar e analisar os padrões de desmatamento, relacionando-os às métricas da paisagem e aos estágios de expansão da fronteira agropecuária. A metodologia foi organizada nas seguintes etapas: 1) estrutura organizacional de modelagem em SIG; 2) mapeamento e classificação dos padrões de desmatamento; e 3) mapeamento dos estágios de expansão da fronteira agropecuária. Observou-se que os padrões difuso e geométrico representam 72,5% dos polígonos avaliados, correspondendo a 15,64% do desmatamento. Entretanto, os padrões linear e consolidado, que perfazem 12,5% dos polígonos classificados, representam 65,5% das áreas desmatadas na BHRP. Os arranjos espaciais dos polígonos de desmatamento estão associados a dois estágios evolutivos da fronteira agropecuária amazônica: o estágio permanente/consolidado, situado ao longo da rodovia Transamazônica, e o pioneiro/difuso, instalado às margens das estradas rurais e do curso principal do rio Pacιά.

Palavras-chave: Ocupação da terra; mudança; uso da terra; métricas; pioneiro.

Introdução

Há mil anos, as florestas tropicais cobriam 12% das áreas verdes do planeta Terra. Porém, atualmente, menos de 5% da superfície terrestre é coberta por florestas úmidas. A maior porção de floresta tropical encontra-se na bacia hidrográfica da Amazônia, que representa quase 33% da cobertura de floresta remanescente mundial. Outros 20% são encontrados na bacia hidrográfica do Congo (África Ocidental) e nas centenas de ilhas da Indonésia e da Malásia, no Sudeste Asiático. Outros 47% se encontram ao longo do Equador, dispersos em milhares de fragmentos remanescentes de floresta úmida tropical (MARTINI, 2002; NUBE, 2013; FAO, 2020).

A floresta Amazônica, que representa aproximadamente 284 milhões de hectares, distribuída por nove países da América do sul, teve no território brasileiro a maior perda de cobertura de floresta primária no ano de 2020, quando 1,05 milhões de hectares de floresta úmida foram derrubados e transformados em

diversas classes de uso e cobertura da terra (FERREIRA e SILVA, 2008; INPE, 2022).

Na Amazônia Legal, o desmatamento tem ocorrido com maior intensidade nos municípios de Caracaraí (RR), Porto Velho (RO), Altamira (PA), Apuí (AM), Lábrea (AM) e Colniza (MT). A substituição da floresta por outro tipo de uso e cobertura da terra se concentra no espaço rural do município de Lábrea, que possui peculiar histórico de ocupação populacional, desenvolvimento regional, conflito pela posse da terra e falta de regularização fundiária (AZEVEDO *et al.*, 2019).

As mudanças na cobertura da terra no espaço rural do município de Lábrea (AM) são de dois tipos: conversão e modificação. “Conversão” refere-se à troca de uma classe de cobertura da terra por outra classe da mesma categoria; por exemplo, uma área de agricultura itinerante ou corte-queima é convertida em pastagem cultivada, destinada à criação extensiva de gado de corte e leiteiro. A “modificação” envolve a transformação total ou parcial de estrutura,

função e composição florística da cobertura da terra. Portanto, a mudança por “modificação” é a troca de categoria de uso e cobertura; por exemplo, uma área de floresta nativa é transformada em área de pastagem cultivada (BRIASSOULIS, 1999).

A partir do banco de dados espacial de desmatamento do Sistema de Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite (PRODES), vários estudos têm sido realizados na Amazônia (ESCADA, 2003; BATISTELLA e MORAN, 2005; SILVA *et al.*, 2008b; SAITO *et al.*, 2011; MAURANO *et al.*, 2019), com a finalidade de analisar, por meio de imagens de sensoriamento remoto, os padrões tipológicos de desmatamento, relacionando-os aos índices de ecologia da paisagem e estágios evolutivos de ocupação humana. É consenso nessas pesquisas que a substituição da floresta ombrófila aberta e densa na Amazônia está associada a diferentes processos de mudança no uso da terra, posse, ocupação humana da propriedade privada no espaço rural e apropriação do capital natural por empresas transnacionais.

O estudo pioneiro sobre os padrões tipológicos de mudança da cobertura florestal (geométrico, corredor espinha de peixe, difuso, fragmentos e ilha) e métricas da paisagem, associados ao estágio evolutivo de uso e ocupação humana da terra, foi desenvolvido por Mertens e Lambin (1997). Esses pesquisadores, ao analisarem os desmatamentos da floresta decídua no sul de Camarões (África), observaram a predominância de três padrões tipológicos de mudança da cobertura florestal: corredor, associado à colonização espontânea ao longo das rodovias; difuso, relacionado à atividade de agricultura migratória em pequena propriedade; e ilha, pertinente a formação de área urbana.

Um dos primeiros estudos de padrões tipológicos e métricas da paisagem na Amazônia foi realizado por Escada e Alves (2003), que identificaram grande heterogeneidade de padrões

espaciais de mudança de uso e de cobertura da terra. Do universo de 54 Unidades de Ocupação (UOP), estabeleceram-se dez diferentes padrões de uso e ocupação da terra, que foram agrupados conforme a categoria fundiária: forma de posse da terra; faixa de idade dos imóveis no assentamento rural e tamanho dos estabelecimentos rurais entre outras. Nas UOP analisadas, foi observado que o padrão de desmatamento categorizado na forma de espinha de peixe prevalece nos assentamentos rondonienses, associados à pequena propriedade rural, constituída por famílias assentadas pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) em lotes de até 100 hectares.

A análise dos padrões tipológicos de desflorestamento foi objeto de pesquisa de Fearnside e Graça (2009), que identificaram, a partir de imagens do CBERS-2, no distrito de Santo Antônio do Matupi (AM), um padrão de desmatamento em forma de “espinha de peixe” (ortogonal). Isso significa que a perda de cobertura vegetal está ocorrendo ao longo das principais estradas e rodovias estaduais, federais e municipais, concentrando-se nas pequenas propriedades rurais com estrutura familiar de até 100 hectares e de forma dispersa e isolada nas grandes propriedades agropecuárias (>1000 hectares).

No contexto dessa discussão, um fato intrigante chama atenção nos dados de monitoramento de perda da cobertura florestal dos últimos dez anos, agregados por município, que mostram Lábrea (AM) na lista dos municípios brasileiros com maior taxa de desflorestamento anual. Nesse mesmo espaço, existem dezoito (18) Terras Indígenas (TI); quatro (4) Unidades de Conservação (UC), sendo duas de uso sustentável e duas de proteção integral; e um (1) projeto de Assentamento de Desenvolvimento Sustentável (ADS) (CENAMO *et al.*, 2011).

No ordenamento territorial do município de Lábrea (AM), as TI, UC e ADS representam 75,9% da área total (68.262.680 km²), e

24,1% são áreas destinadas a múltiplos usos da terra. Realidade que não difere muito dos municípios de Altamira (PA), São Felix do Xingu (PA) e Porto Velho (RO). Esses municípios, embora possuam significativa área de proteção integral, encontram-se no topo da lista dos municípios amazônicos com maior incremento de desmatamento anual e emissão de dióxido de carbono (CO₂) entre 2010 e 2020.

Essas informações remetem a uma problemática singular: por que os municípios com extensas áreas de proteção integral apresentam elevadas taxas de perda da cobertura florestal? Diante do exposto, verifica-se a necessidade de maiores investigações sobre as causas inerentes à mudança da cobertura florestal no espaço rural do município de Lábrea (AM), mais precisamente na bacia hidrográfica do rio Pacia (BHRP), fato que motivou e justifica a pesquisa.

Por meio de estudos, observa-se que os padrões de mudança da cobertura florestal estão relacionados aos diferentes estágios de evolução da fronteira agrícola (MARTINS, 2005; GAVLAK *et al.*, 2011). A heterogeneidade de processos e padrões espaciais de uso e ocupação da terra na Amazônia, identificada por meio de tratamento de imagens de satélite, permitem reconhecer quatro estágios evolutivos de uso e ocupação na fronteira agrícola – pioneiro, transição, consolidado e urbanizado –, conforme preconizado por Diniz (2002).

Nesse contexto, este trabalho foi realizado com o objetivo de identificar e analisar os padrões tipológicos de supressão da cobertura florestal, relacionando-os às métricas de ecologia da paisagem, associadas aos estágios evolutivos de expansão da fronteira agropecuária na BHRP.

Figura 1. Carta imagem do município de Lábrea, com a localização da Bacia hidrográfica do rio Pacia (AM).

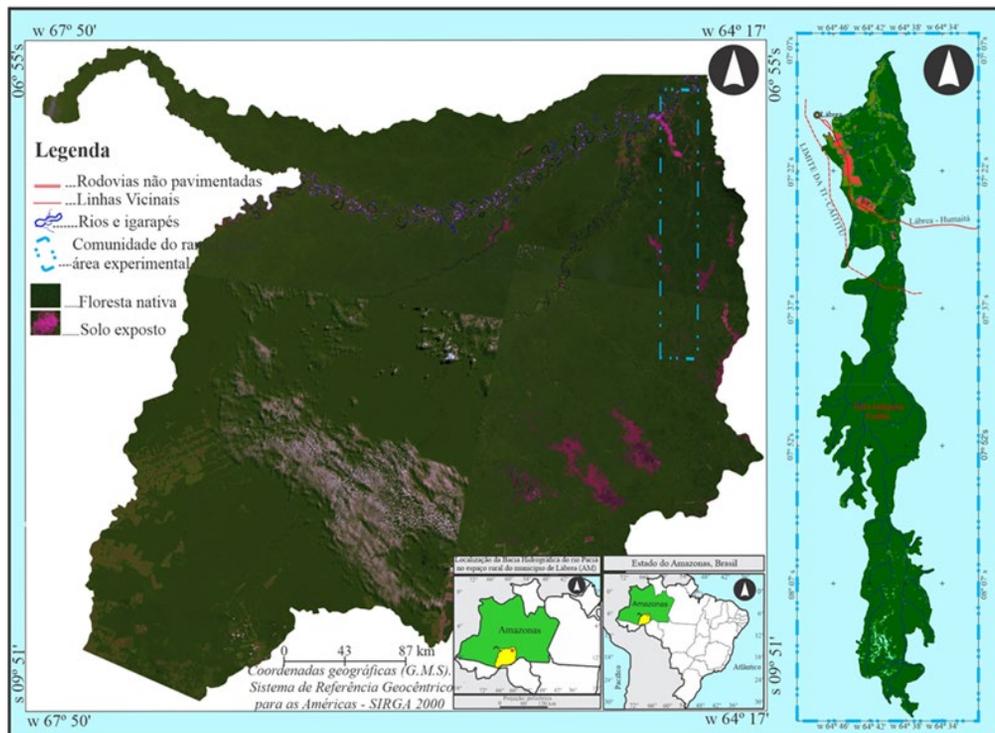


Imagem LANDSAT-TM/senas 001/65, 001/66, 233-65 e 233-66-RGB. Base cartográfica elaborada a partir da carta topográfica da Diretoria de Serviço Geográfico do Ministério do Exército – DSG, escala 1:100000.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Material e métodos

Área de estudo

A área escolhida para este trabalho foi a BHRP, mais precisamente a Colônia Agrícola do Ramal do 12 (CAR-12). Essa comunidade faz parte do Assentamento Umari, situado no médio curso do rio Pacιά. A BHRP localiza-se entre as seguintes coordenadas geográficas: longitude 64° 45' 14" e 64° 34' 21" W e latitude 07° 07' 16" e 08° 07' 06" S (FIGURA 1).

O município de Lábrea (AM) integra a microrregião do médio rio Purus e a Amazônia Legal. Estas possuem cobertura florestal primária, classificada como floresta ombrófila aberta de terras baixas com palmeiras; floresta ombrófila aberta aluvial e terraços com palmeiras; campinarana, sem uso indefinido e vegetação cultivada, originária de agricultura itinerante ou migratória; campos cultivados (pastagem) destinados à criação extensiva de gado de corte e leiteiro e sistema agroflorestal (SAF) (LINHARES, 2017).

O rio Pacιά situa-se sob o domínio das terras baixas florestadas equatoriais sul-amazônicas, meio natural em que predomina, segundo a classificação de Strahler, o clima equatorial úmido, com três meses secos (junho a agosto) e temperaturas médias anuais elevadas (24° C e 27° C). As chuvas acontecem entre os meses de novembro a março, quando ocorrem os maiores índices de pluviosidade, entre 1310 e 1555 mm. Os meses de abril e outubro caracterizam-se como os meses de transição (SILVA *et al.*, 2008a).

Procedimentos metodológicos

A metodologia da pesquisa foi delineada com base nos trabalhos desenvolvidos por Silva *et al.* (2008b), Gavlak *et al.* (2011) e Saito *et al.* (2011). Constitui-se numa pesquisa quantitativa de natureza básica, com objetivos exploratórios. Para entender a problemática, utilizam-se dados quantitativos de fontes primárias e secundárias

de pesquisa. Os dados quantitativos receberam tratamento estatístico descritivo e comparativo de significância da média de indicadores das métricas de ecologia da paisagem, tendo como variáveis principais as dimensões que compõem os polígonos e/ou áreas de desmatamento e de floresta tropical remanescente na BHRP. A metodologia da pesquisa é composta de três fases: 1) estrutura organizacional de modelagem em SIG; 2) mapeamento e classificação dos padrões tipológicos de cobertura da terra na BHRP; e 3) mapeamento dos estágios da fronteira agropecuária na BHRP. Estas fases encontram-se detalhadas da seguinte forma:

Estrutura organizacional de modelagem em SIG

Nessa fase, no módulo principal do SIG/SPRING 5.0, foi definido o uso do Banco de Dados Geográfico – BDG (denominado de AMAZ_SUL) e do gerenciador SQLlife para armazenar os dados da pesquisa. Em seguida, criou-se o projeto (Umari_AM) e estabeleceu-se o sistema de projeção cartográfica, Lat/Long, ajustado ao sistema de referência internacional da América, Datum SIRGA 2000. Na interface do modelo de dados do SPRING, foram definidas as categorias com seus planos de informações (PI's) e atributos: i) *imagem* (Landsat); ii) *temático* (Ter_Legal, Rede_hídrica, Rodovias, sede_municipal); iii) *objeto* (Assent_rur); iv) *mapa cadastro* (Geologia, relevo, solo e vegetação) (INPE, 2015).

A seleção dos polígonos com os padrões tipológicos de desmatamento e métricas da paisagem, associados aos estágios de uso e ocupação humana da terra, foi realizada por meio de tratamento de imagens, captadas pelo sensor TM a bordo do satélite LANDSAT – cenas 233/065 e 233/066, com resolução espacial (pixel) de 30 metros e composição colorida RGB (B3 = vermelho, B4 = verde e B5 = azul).

Após retificação da imagem, foi realizada a pré-interpretação por meio do método de classificação supervisionada com o uso do

algoritmo *máxima verossimilhança*, em que foram considerados cinco classes de amostragem de cobertura da terra: 1) desmatamento; 2) floresta primária; 3) pastagem; 4) solo exposto; e 5) cursos d'água. Com base nestas informações, foram produzidos os mapas temáticos de cobertura da terra da BHRP (MOREIRA, 2001).

Critérios de classificação dos padrões tipológicos de cobertura da terra na BHRP

Essa fase foi realizada em duas etapas. Na primeira etapa, foi realizada a classificação dos padrões de desmatamento e mudança de cobertura para os anos de 1988 a 1997, 1998 a 2007 e de 2008 a 2020, seguindo a tipologia descrita na TABELA 1.

Conforme a dimensão das áreas desmatadas, estas foram associadas por amostragem em tela a seis tamanhos (hectares = ha) de áreas ou polígonos de desmatamento, variando de: < 10

ha, 11-50 ha, 51 – 100 ha, 101 – 200 ha, 201 – 250 ha e > 250 ha.

A partir de um conjunto de métricas de ecologia da paisagem, foram extraídos os atributos métricos dos polígonos que discriminaram as diferentes áreas ou polígonos correspondentes a uma dada mudança da cobertura da terra. As dimensões métricas obtidas para os polígonos de desmatamento foram associadas a cada padrão tipológico de uso e ocupação humana da terra (TABELA 1).

Com base nos procedimentos analíticos estabelecidos por Silva *et al.* (2008b) e Saito *et al.* (2011), seis atributos métricos de ecologia da paisagem foram considerados nas análises dos polígonos desmatamento: perímetro (PERIM/ metros = m), área (AREA/ha), índice de borda (ED), índice de tamanho médio (MPS), dimensão fractal média da mancha (MPFD) e índice de forma médio (MPAR).

Tabela 1. Tipologia dos padrões de desmatamento e dos estágios de ocupação humana da fronteira agropecuária.

Forma de desmatamento	Padrões de desmatamento	Descrição	Estágio da fronteira agrícola
	Difuso	Peq. manchas isoladas; baixa densidade; distribuição uniforme.	Uso e ocupação pioneira Ocupação pop. espontânea; peq. produtores rurais.
	Linear	Manchas alongadas e contínuas; espaçado e unidirecional.	Uso e ocupação pioneira Ao longo das estradas, eventualmente planejada; peq. produtor rural.
	Geométrico	Forma geométrica regular (simétrica); baixa e média densidade. médias e grandes manchas isoladas.	Uso e ocupação pioneira Ocupação pop. planejada pelo agropecuarista; méd. e grandes agricultores.
	Multidirecional	Peq. e médias manchas assimétricas que se uniram; média a alta densidade.	Uso e ocupação transitória Ocupação. pop. às vezes espontânea; concentração de peq. e médios agricultores.
	Bidirecional	Pequenas e médias manchas alongadas com direção opostas e/ou paralelas.	Uso e ocupação transitória Planejada pelo INCRA; peq. agricultores.
	Consolidado	Grandes manchas compactas e contínuas.	Uso e ocupação públicos e privado permanente ou definitiva Grandes agropecuaristas.

Fonte: Elaborado a partir de Gavlak *et al.* (2011); Saito *et al.* (2011) e Diniz (2002).

No SIG/SPRING, a rotina de classificação vetorial automática foi iniciada com a seleção, no menu principal, da ferramenta de edição de classes temáticas. Na sequência, estabeleceu-se o operador de associação e a entidade de polígonos. A partir das classes e dos atributos de dados da tabela 1 (os padrões de desmatamento e estágios de uso e ocupação da terra), realizou-se a classificação dos polígonos obtidos nas fases de segmentação e classificação das imagens. Os mapas temáticos foram elaborados por meio da ferramenta de classificação vetorial automática do SIG/SPRING, seguindo a proposta metodológica de Martinelli (2003). Os *layouts* dos mapas foram definidos e ajustados no módulo *Scarta* do Spring 5.0.

Mapeamento dos estágios da fronteira agropecuária na BHRP

Na avaliação dos estágios evolutivos da fronteira agropecuária, materializados por meio do uso e ocupação humana da terra na BHRP–AM, foi estabelecido um conjunto de critérios fundamentado na classificação dos padrões tipológicos de desmatamento. Consideraram-se como trajetória de expansão da fronteira todos os polígonos que representavam florestas primárias (polígono de floresta primária contínua e/ou fragmentos remanescentes de floresta primária) em 1997, e nos anos subsequentes possuíam algum outro tipo de uso e ocupação humana da terra. Como trajetória de consolidação, foram considerados os polígonos com padrão de uso e ocupação da terra difuso, linear ou geométrico entre 1998 e 2008, e entre 2009 e 2020 com padrão multidirecional ou consolidado. Polígonos com padrão difuso ou consolidado até 1997, e que não sofreram mudança de padrão, foram classificados como padrão difuso ou consolidado. Polígonos com os padrões linear, bidirecional e geométrico, que não alcançaram patamar de consolidação, foram classificados como outros padrões. Esses critérios foram usados com a finalidade de permitir a compatibilização dos

procedimentos de análise dos padrões tipológicos de desmatamento florestal, associados aos estágios evolutivos da fronteira agropecuária descritos por Diniz (2002) e adaptado por Gavlak *et al.* (2011).

Resultados e discussão

A derrubada de floresta ombrófila aberta e densa no sul da Amazônia, em especial no espaço rural do município de Lábrea (AM), vem ocorrendo em duas frentes de evolução/expansão da fronteira agropecuária. A primeira situa-se ao sul da sede administrativa do município de Lábrea, nos limites dos projetos de assentamento rural PA – Monte I e II, ao longo de estradas vicinais não oficiais que partem das BR 317 e BR 364 e, principalmente, nos ramais Jequitibá, Boi, Baiano, Mendes Junior, Prosam, Proterra e ramais 1º e 2º. A distância que se encontram essas comunidades rurais da capital amazonense e a dificuldade de logística da região sul-amazônica, são, sem dúvida, as principais causas da baixa governança, que levam a região a concentrar mais de 90% dos novos focos de incêndios e de perda de cobertura florestal no sul da Amazônia Legal (CENAMO *et al.*, 2011; REIS e LEAL, 2020).

A segunda frente de expansão da fronteira agropecuária localiza-se no norte de Lábrea (AM), nas proximidades da área urbana, mais precisamente na área da BHRP, onde, em meados da década de 1990, o INCRA implantou o Projeto de Assentamento PA – Pacia e PA – Umari. Nessa área, o desmatamento é decorrente da mudança do uso da terra por conversão e modificação, fenômeno que representa aproximadamente 5% da supressão da cobertura florestal primária remanescente.

A análise evolutiva do incremento do desflorestamento revelou acelerado processo de retirada da cobertura florestal ao longo do curso principal e secundário do rio Pacia. Até os

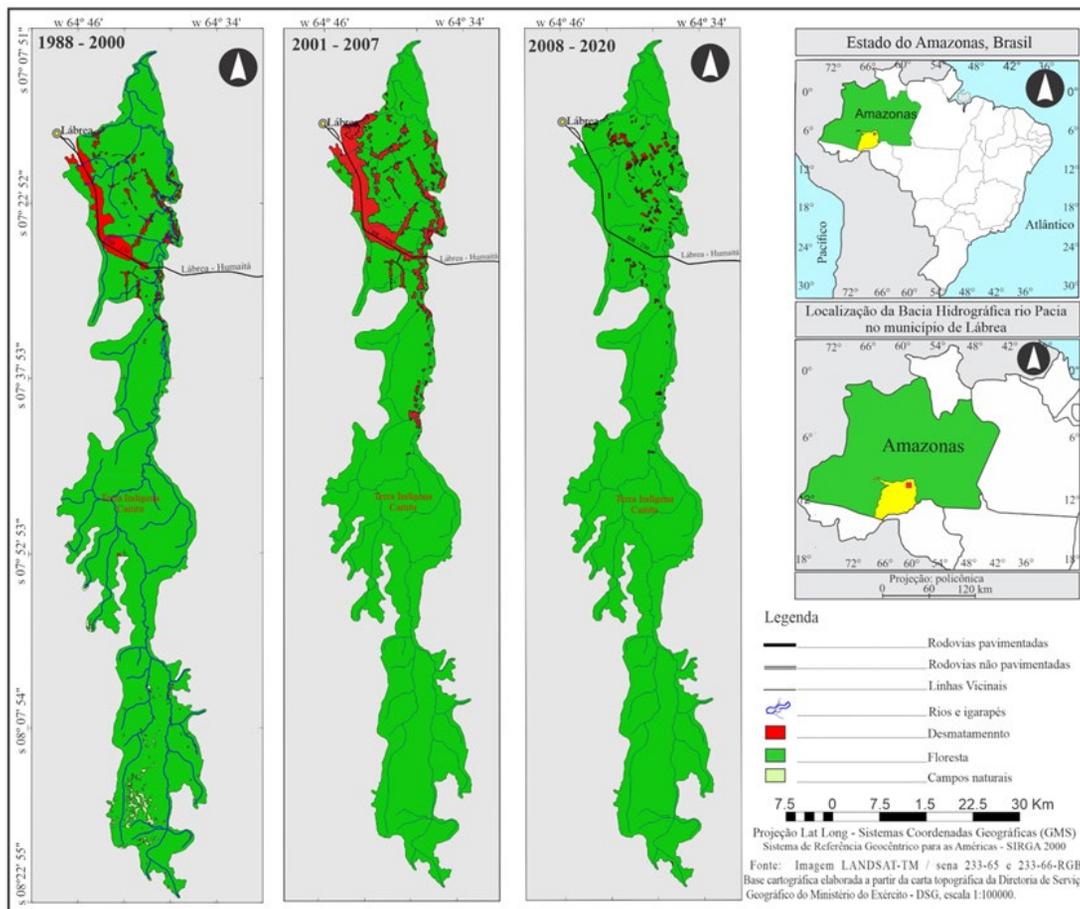
anos de 1980, a BHRP tinha desmatamento de 4.273,0 hectares (3,02%). No ano de 2001, com o incremento de 1,92%, houve crescimento de 4,94%, com aumento da área desmatada para 6.978,0 hectares (FIGURA 2). A substituição da floresta ombrófila aberta, de terras baixas aluviais e de terras firmes, por pastagem e lavoura, atingiu 12.382 hectares (aumento de 177,43%) no ano de 2010. No entanto, de 2011 a 2020 observa-se que o desflorestamento acumulado na BHRP atingiu 7.055,62 hectares. Na última década houve redução de 57% no desmatamento na BHRP.

É importante mencionar que, no triênio 2017-2020, a média acumulada de desmatamento permaneceu em 0,6% ao ano, ou seja, próximo de 1,0%. Vários fatores têm contribuído para a

diminuição da perda da cobertura florestal nativa na área de estudo, com destaque para:

- i. Implantação de políticas públicas por instituições de gestão ambiental municipal, estadual e federal, com a finalidade de orientar, capacitar, controlar e fiscalizar empresas e indústrias de processamento, beneficiamento e comercialização de produtos e/ou subprodutos derivados de recursos florestais;
- ii. Instalação e estruturação da sede do Instituto Chico Mendes da Conservação da Biodiversidade – ICMBIO no município de Lábrea (AM);
- iii. Implantação da feira da produção rural, em que o pequeno agricultor e sua família

Figura 2. Evolução do incremento de desmatamento na Bacia Hidrográfica do rio Pacia (AM).



Fonte: Elaborada pelos autores.

passaram a comercializar a produção agrícola da quinzena direto ao consumidor, aumentando o valor do produto agropecuário regional, bem como a renda mensal do pequeno produtor rural;

- iv. Conscientização do pequeno produtor rural em relação à adoção de novas tecnologias de produção agrícola que elevem a produtividade, sem comprometer o meio ambiente, em particular o ecossistema do solo;
- v. Incentivos financeiros concedidos pelo estado a produtores rurais por meio do Programa de Agricultura de Baixo Carbono (PABC), destinados à implantação de tecnologia de produção agropecuária que contribua para a redução de impactos ambientais causados por atividades agropecuárias tradicionais; por exemplo, implantação de sistema agroflorestal (SAF), quintal agroflorestal (SQF) e pequena indústria comunitária sustentável de produção automática de fécula e farinha de mandioca;
- vi. Demarcação e homologação, na seção de alto curso da BHRP. da Terra Indígena (TI) da etnia Apurinã e Paumari, que faz limites às Unidades de Conservação de Proteção Integral, Reserva Extrativista do Ituxi (Resex Ituxi) e Parque Nacional Mapinguari (PARNA), por meio do decreto nº 289 de 30/10/1991.

A respeito da criação de áreas de proteção ambiental, Vitel *et al.* (2009) analisaram o efeito da criação de áreas protegidas estaduais e federais no sul e sudoeste amazônico (Reservas Extrativistas do Ituxi e Médio Purus, Floresta Nacional do Iquiri, Parque Nacional do Mapinguari e Balata Tufari), instituídas com intuito de frear o desflorestamento e minimizar os impactos ambientais referentes à recuperação, reconstrução e pavimentação da rede rodoviária sul-amazonense. Os autores concluíram que as áreas protegidas federais são eficientes para inibir a perda da cobertura florestal. No entanto, as Unidades de Conservação de Desenvolvimento Sustentável (UCDS) criadas pelo estado são

menos efetivas para conter o desmatamento no Amazonas, quando comparadas com as federais.

De acordo com as evidências sobre o desmatamento e a mudança de uso da terra na área de fronteira agrícola da Amazônia, percebe-se que a pecuária bovina é a principal atividade econômica na região, e que são os médios e grandes pecuaristas os responsáveis pelos desmatamentos (MARGULLIS, 2003). Os pequenos proprietários atuam como fornecedores de mão de obra ou agentes. Ainda, que as condições geoambientais da Amazônia Ocidental – na qual há predominância de floresta ombrófila densa e aberta sob altos índices de pluviosidade – tornam a pecuária e a agricultura convencionais praticamente inviáveis. O autor reafirma que existem inúmeras alternativas agrícolas que são sustentáveis; é possível que esteja se referindo ao sistema agrossilvipastoril (SAF) e ao sistema integração lavoura–pecuária–floresta (ILPF), que podem substituir a pecuária convencional, gerando maiores benefícios sociais, econômicos e ambientais.

O prognóstico apresentado por Soares-Filho *et al.* (2005) predizia que o aporte de recursos financeiros aplicados na melhoria de serviços de infraestrutura, nos municípios cortados pelos eixos rodoviários que interligam os estados Amazonas-Rondônia-Acre às demais regiões brasileiras, poderiam causar, a médio e longo prazo, a aceleração do desflorestamento – fenômenos que se intensificariam a partir de 2025, e somente por volta de 2045 atingiriam o ponto de estabilidade, quando os atores do desmatamento e as ações irão concentrar-se nas imediações dos municípios de Apuí, Boca do Acre e Lábrea, entre outras unidades federais situadas ao longo das BR-230, BR-317, BR-319 e BR-364.

Variabilidade de padrões e métricas ecológicas da paisagem dos polígonos de desmatamentos na BHRP (AM)

Foram mapeados 307 polígonos de desmatamento, sendo 105 entre 1988 e 2007 e

202 polígonos de 2008 a 2020. Houve aumento significativo no quantitativo de polígonos de desmatamento nos últimos 12 anos (2008-2020) na BHRP. Entretanto, na análise comparativa do total de polígonos *versus* áreas efetivamente desmatadas observou-se redução de 59,17% no incremento por polígonos de desmatamento entre 2008 e 2020 (2149,41 hectares), quando comparado aos valores registrados entre 2001 e 2007 (3649,26 hectares). Esses resultados corroboram os obtidos nas análises de desmatamento por corte raso feitas por imagem de satélite do Programa de Monitoramento por Satélite do Desmatamento, na Amazônia Legal (PRODES) (INPE, 2017).

Nas Figuras 3 a 7, é possível visualizar os gráficos *box plots* para cada métrica de ecologia da paisagem analisada. A métrica MPS estima o tamanho médio dos polígonos de desmatamento, acumulados e registrados entre 2001-2007 e 2008-2020.

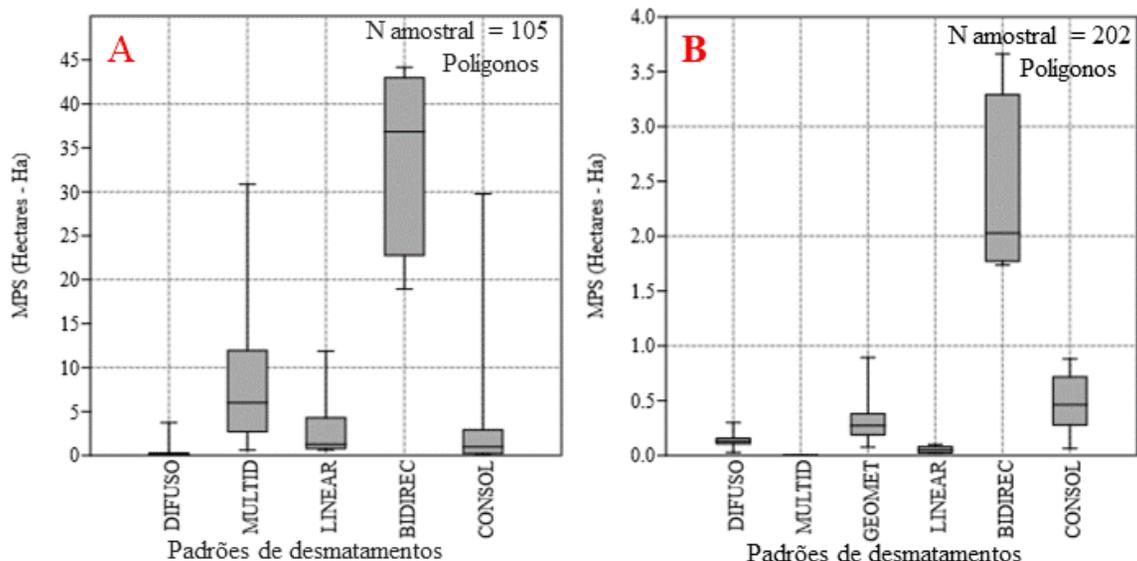
Os maiores valores de MPS, de acordo com a Figura 3A e 3B, foram observados para os padrões de desmatamento bidirecional,

multidirecional e consolidado, e os menores para os padrões difuso e linear. Os valores de MPS para os padrões de desmatamento consolidados e geométricos podem ter sido afetados devido ao tamanho da área avaliada. Esses resultados diferem dos obtidos por Saito *et al.* (2011) em estudo sobre os efeitos da mudança de escala em padrões de desmatamento na Amazônia.

A métrica da paisagem densidade de borda (ED), apresentada na Figura 4A e 4B, possui valores de mediana a distintos para alguns padrões de desmatamentos, como o bidimensional e multidirecional para os polígonos avaliados no período de 2001 a 2007, e valores similares para os padrões difuso, multidirecional, geométrico, linear e bidirecional entre 2008 e 2020.

O padrão que teve maior ED foi o bidirecional, seguido pelo linear. Embora o quantitativo de manchas de desmatamento seja pequeno, ambos possuem feições geométricas da paisagem estreitas e alongadas, cuja área total desmatada seja relativamente superior a somatória da área das manchas de desmatamento do padrão

Figura 3. Métricas da paisagem dos polígonos de desmatamento da BHRP, espaço rural do município de Lábrea, sul da Amazônia. **A.** MPS de desmatamento entre 2001 e 2007. **B.** MPS de desmatamento entre 2008 e 2020.



Legendas: MULTID = multidirecional. GEOMET = Geométrico. BIDIREC = Bidirecional. GEOMET = Geométrico. CONSOL = Consolidado. MPS = tamanho médio das manchas. Elaborado pelos autores.

Fonte: Elaborado pelos autores.

difuso. De modo abrangente, os valores de ED não diferiram entre os padrões de desmatamento, possivelmente em virtude do tamanho da área total da paisagem avaliada.

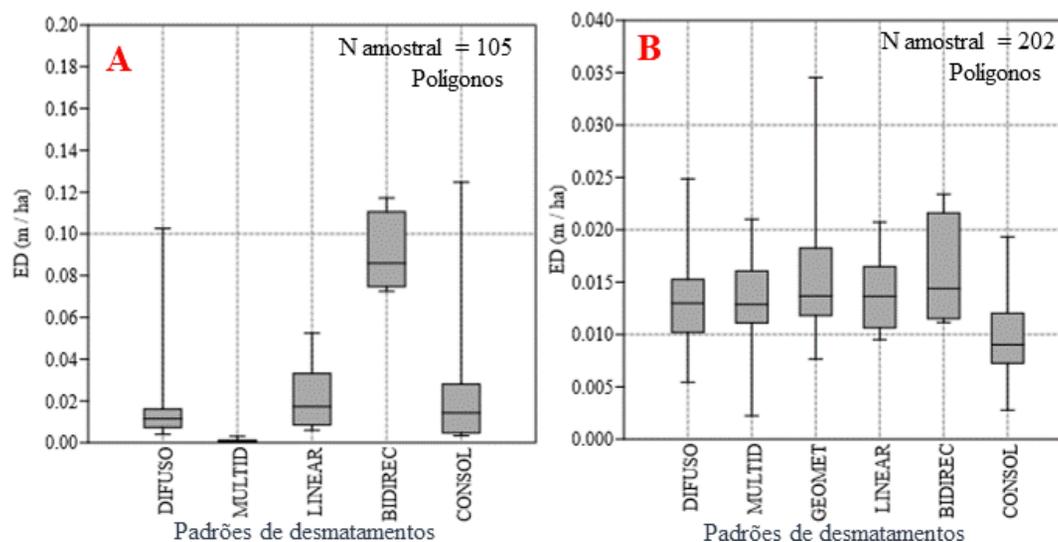
Pirovani *et al.* (2015) esclarecem que o aumento dos valores da métrica da densidade de bordas é decorrente do aumento gradativo das manchas de desmatamento e da ampliação de atividades produtivas, que representa a formação de novos polígonos na paisagem. Os resultados alcançados neste estudo estão em consonância com o estudo realizado em assentamento rural no município Vale do Anari, estado de Rondônia, por Silva *et al.* (2008b).

A mediana da métrica da paisagem (FIGURA 5) que mede a irregularidade e a complexidade de formas das manchas de desmatamento (MPFD), teve menor valor para os padrões difuso no período de 2001 a 2007, multidirecional e geométrico entre 2008 e 2020. Esse resultado explica que os polígonos têm formas próximas à figura geométrica de um retângulo, facilmente distinguidos na paisagem dos outros padrões de desmatamento.

Nos outros padrões, o valor da métrica MPFD praticamente não se alterou em relação ao tamanho total da área da paisagem analisada – exceto o padrão bidirecional, entre 2008 e 2020 –, possivelmente porque os polígonos analisados de cada padrão tipológico de desmatamento possuem valor próximo a 1, fato que confere configuração de homogeneidade quanto à complexidade de formas na totalidade das amostras avaliadas.

Grande parte do aumento dos padrões de desmatamentos localizados no médio curso da BHRP está diretamente relacionada à expansão da fronteira agropecuária, onde surgiram, a partir de 2001, com a demarcação do Projeto Assentamento Umari, novas áreas desmatadas oriundas da formação de pequenas e médias fazendas, predominando a atividade de pecuária extensiva e lavoura de manutenção (subsistência), em especial ao longo das estradas rurais 04, 12 e 24 e às margens do curso principal (médio curso a foz) do rio Pacιά. Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Galak *et al.* (2011) em estudo realizado na região do Distrito

Figura 4. Densidade de borda das áreas de desmatamento na BHRP, espaço rural do município de Lábrea - AM. **A.** ED dos polígonos de desmatamento entre 2001-2007. **B.** ED dos polígonos de desmatamento entre 2008-2020.



Legendas: MULTID = multidirecional. GEOMET = Geométrico. BIDIREC = Bidirecional. CONSOL = Consolidado. ED = Densidade de Borda.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Florestal Sustentável da BR-163, porção oeste do Estado do Pará.

A métrica de ecologia da paisagem MPAR mede a complexidade da forma dos polígonos; esta possui valores menores para forma mais regular (HUANG *et al.*, 2006; CABACINHA *et al.*, 2010). Os maiores valores para esta métrica, como representados na Figura 6, foram observados para os padrões linear e bidirecional. O menor valor observado, como já era esperado, foi para o padrão geométrico entre 2008-2020, que possui polígonos mais regulares do que os demais padrões avaliados. Seu valor pode aumentar, conforme aumenta o tamanho da área de análise, tornando-a mais heterogênea.

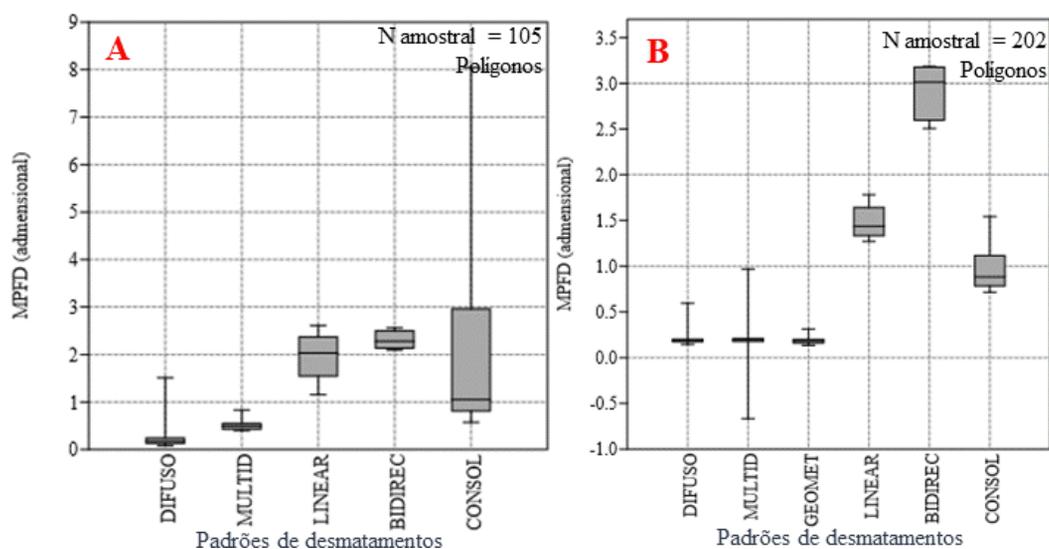
O padrão linear teve valores de mediana da mesma ordem de grandeza que o padrão consolidado, pois, embora possua polígonos como feição regular, sua área estreita e alongada faz com que a relação perímetro/área resulte em valores altos. É importante esclarecer que, no período 2001-2007, nenhum polígono foi classificado com o padrão geométrico; prevaleceu, em termos

quantitativos de manchas, os polígonos difuso e multidirecional, com valores menores para métrica MPAR e feições mais regulares que os demais padrões avaliados.

As análises dos padrões tipológicos de desmatamento feitas por meio das métricas de ecologia da paisagem (PERM, AREA, MPS, ED, MPFD e MPAR), consideradas como base para aferir os efeitos da mudança dos padrões de uso e ocupação da terra, permitiram discriminar na BHRP a predominância do padrão difuso e multidirecional em termos de quantitativo de polígonos de desmatamento.

Esses padrões resultaram nos menores valores de densidade de borda, tamanho médio de manchas de desmatamento, complexidade na forma das manchas e regularidade ou irregularidade na forma dos polígonos de desmatamento. Os resultados analíticos dos padrões tipológicos de desmatamento associados às métricas da paisagem permitem afirmar que entre 2008-2020 houve estagnação na expansão do uso e ocupação humana da terra no interior da BHRP.

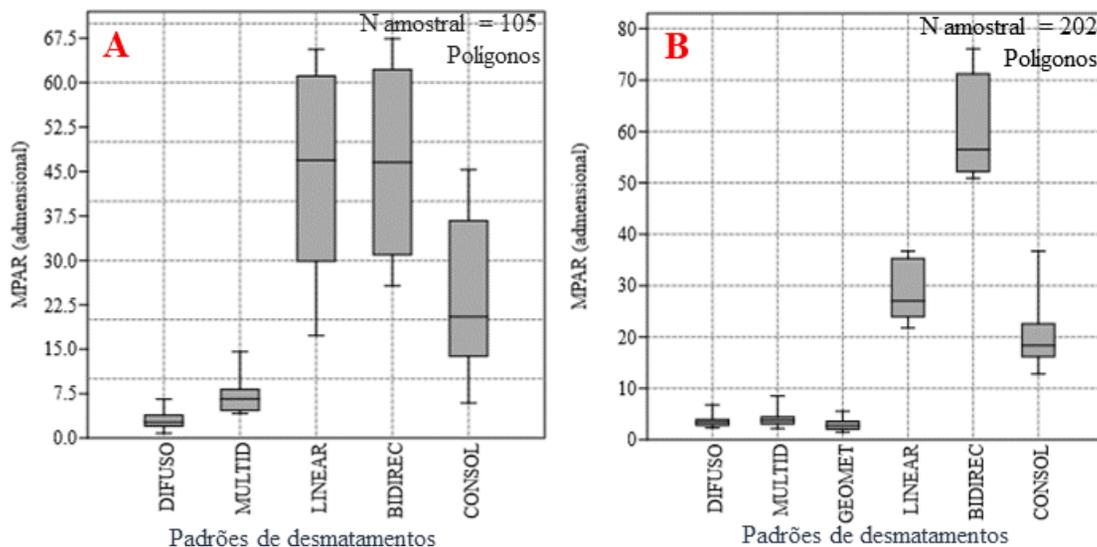
Figura 5. Dimensão fractal média ponderada da mancha de desmatamento na BHRP. **A.** MPFD das manchas de desmatamento entre 2001-2007. **B.** MPFD das manchas de desmatamento entre 2008-2020.



Legendas: MULTID = multidirecional. GEOMET = Geométrico. BIDIREC = Bidirecional. CONSOL = Consolidado. MPFD = Dimensão padrão fractal médio ponderado.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 6. Índice médio de complexidade do polígono de desmatamento na BHRP, espaço rural do município de Lábrea (AM). **A.** MPAR dos polígonos de desmatamento entre 2001-2007. **B.** MPAR dos polígonos de desmatamento entre 2008-2020.



Legendas: MULTID = multidirecional. GEOMET = Geométrico. BIDIREC = Bidirecional. CONSOL = Consolidado. MPAR = medida de complexidade da forma dos polígonos

Fonte: Elaborado pelos autores.

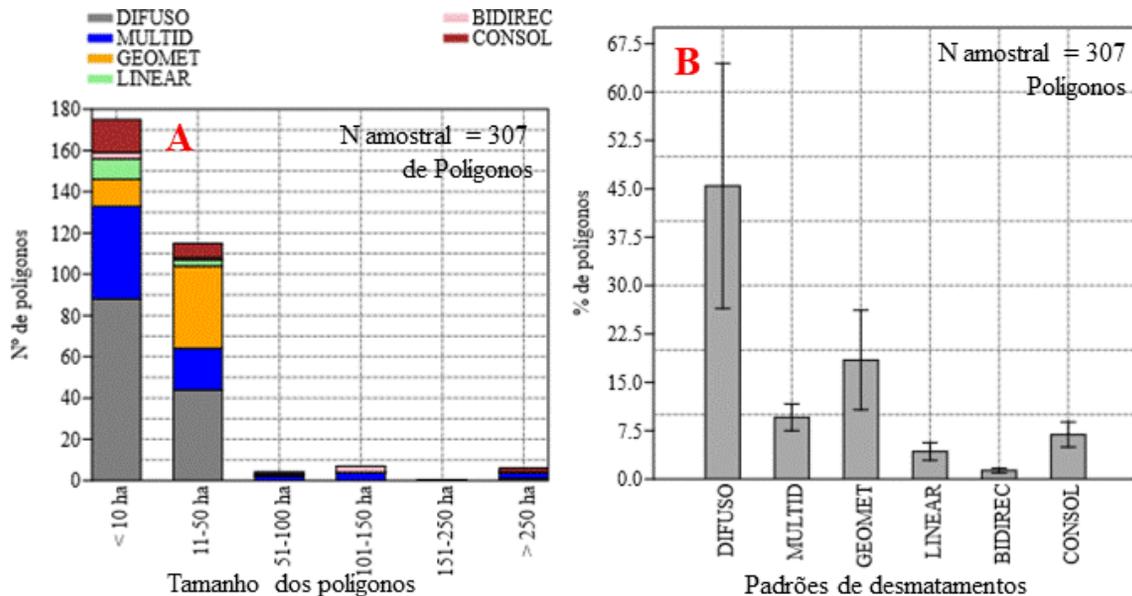
Varição dos padrões tipológicos de desmatamento e do estágio de ocupação na BHRP

A identificação dos padrões tipológicos de desmatamento estabelecidos por Silva *et al.* (2008b) e Gavlak *et al.* (2011) e os diferentes estágios de mudança de uso e ocupação da terra recomendados por Diniz (2002) serviram de base para a definição do estágio agropecuário em que se encontram os assentamentos e ocupações espontâneas na BHRP. O estágio que Diniz (2002) definiu como fase pioneira foi associado ao padrão tipológico difuso, que teve pequena mudança entre os períodos de análise. A fase transitória correspondeu aos polígonos com padrões multidimensionais, com expansão no quantitativo de polígonos de desmatamento de 1988 a 2020. A fase consolidada foi relacionada aos polígonos com trajetórias de consolidação ou estabilização do desmatamento, uso e ocupação da terra no período avaliado. E, por fim, a fase urbanizada, neste estudo, correspondeu ao padrão consolidado independente da dimensão da área urbana.

Os padrões tipológicos de desmatamento associados aos estágios de expansão da fronteira agrícola sul-amazônica são mostrados na Figura 7. A fronteira “consolidada” observada na BHRP situa-se ao longo da faixa de influência da rodovia Transamazônica (BR-220) e caracteriza-se pelo agronegócio, cujo espaço rural possui excessiva concentração fundiária, predominando grandes fazendas e propriedades rurais. Apenas no trecho que compreende da comunidade do rio Pacιά (Km 35 da BR-230) até o perímetro urbano de Lábrea (AM) mais de 7.000 hectares de terra pertencem a uma dezena de proprietários.

A fronteira agrícola pioneira sul-amazônica possui três padrões espaciais de uso e ocupação da terra: geométrico, linear e, sobretudo, difuso. A fronteira pioneira associada ao padrão de desmatamento difuso – processo que se iniciou no final do século XIX com a migração de nordestinos para trabalho nos seringais – vem ocorrendo ao longo do curso principal do rio Pacιά. Recentemente, houve a intensificação do uso e ocupação humana da terra no médio curso, aumentando as áreas de desmatamento

Figura 7. Padrões de desmatamento associados ao tamanho dos polígonos na BHRP (AM). **A.** Quantitativo de polígonos ordenados por tamanho e padrões de desmatamento entre 2001 e 2020. **B.** Porcentagem de polígonos relacionados ao padrão de desmatamento entre 2001 e 2020.



Legendas: MULTID = multidirecional. GEOMET = Geométrico. BIDIREC = Bidirecional. CONSOL = Consolidado.

Fonte: Elaborado pelos autores.

de padrão difuso, em especial no interior das propriedades situadas no P.A Umari, cujo arranjo espacial dos imóveis rurais seguiu a trajetória da rede de drenagem principal (FIGURA 8).

Na fronteira pioneira associada ao padrão espacial de desmatamento linear, o uso e a ocupação humana da terra foram planejados pelo estado, já que, no ano de 1997, por ocasião da demarcação do assentamento rural P.A Umari surgiu a colônia agrícola do 12, com a construção da estrada no km 12, iniciando na BR-230. Ao longo dessa estrada, foram assentadas 70 famílias em imóveis de 50 hectares. Com a finalidade de garantir a posse da terra e devido à falta de capital e a reduzida oferta de trabalho, os colonos organizaram uma rede informal de trabalho comunitário, para realizar a árdua tarefa de fazer a terra produzir. Todavia, um pequeno grupo de lavradores da colônia agrícola do 12 está trocando o plantio de tubérculo pelo cultivo de *Euterpe oleracea* Mart, consorciados com outras espécies arbóreas tropicais. Nesses espaços, evidencia-se o processo de ocupação

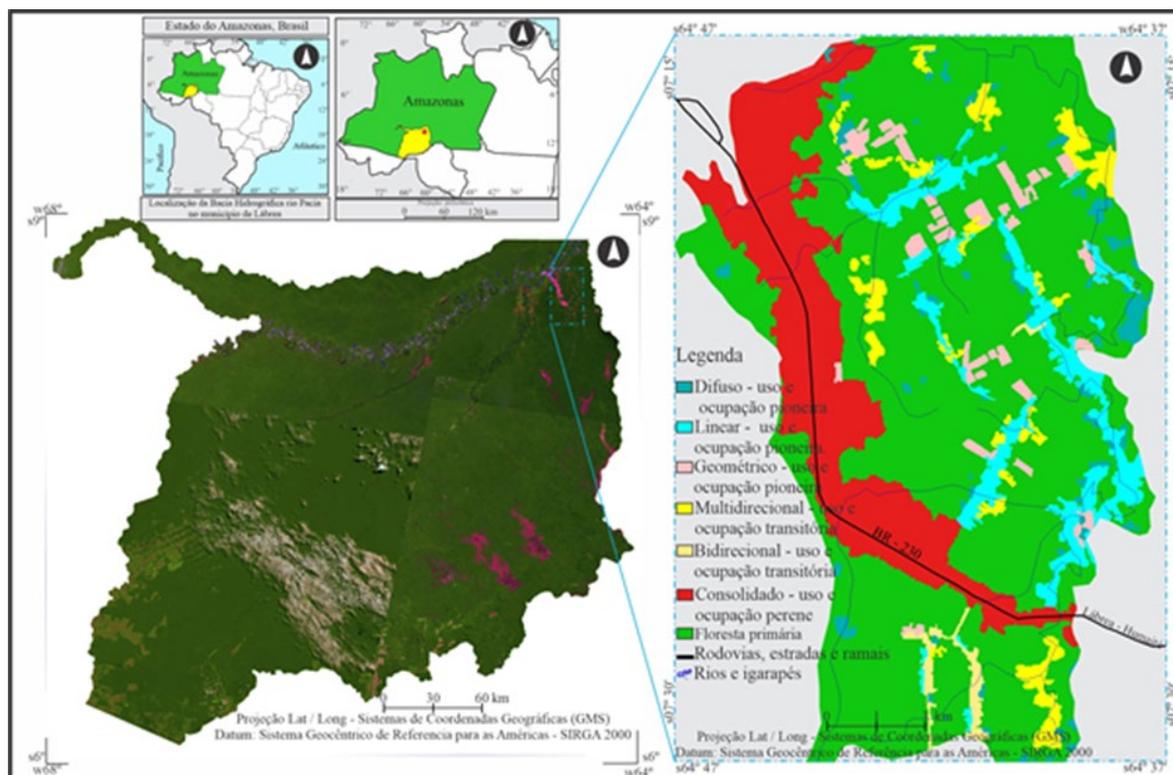
humana que dá origem à frente agrícola pioneira postulada por Machado (1992).

Conclusões

Os padrões difuso geométrico e multidirecional prevalecem em quantidade de polígonos (222) de desmatamento, correspondendo a 15,64% da perda de floresta primária na BHRP. Por outro lado, os padrões linear, consolidado e bidirecional, que somam juntos 83 polígonos, representam 84,36% do desmatamento na BHRP. Conclui-se que os padrões de desmatamento linear, consolidado e geométrico são oriundos de uso e ocupação planejada da terra, associados à implantação de infraestrutura rodoviária e fundiária da terra na BHRP, e dos padrões difuso e multidirecional de uso e ocupação espontânea da terra, em que o uso da terra ocorreu fora dos padrões de orientação ambiental e assistência técnica governamental.

A mudança gradativa de ocupação pioneira (padrão difuso, linear e geométrico) passando

Figura 8. Padrões de desmatamento (2001 – 2020) associados ao estágio de uso e ocupação da fronteira agropecuária no médio curso BHRP, localizada no espaço rural do município Lábrea (AM).



Fonte: Imagem LANDSAT-TM/cenas 001/65, 001/66, 233-65 e 233-66-RGB. Base cartográfica elaborada a partir da carta topográfica da Diretoria de Serviço Geográfico do Ministério do Exército – DSG, escala 1:100000. Elaborada pelos autores.

por ocupação transitória (multidirecional) e, posteriormente, para ocupação permanente ou definitiva (padrão consolidado) decorre da ampliação das atividades produtivas, que representam a formação de novos polígonos de desmatamento na paisagem e, por conseguinte, o aumento dos valores de densidade de borda (ED), tamanho médio dos polígonos (MPS) e dos indicadores de simetria e assimetria dos polígonos (MPAR) de desmatamento. O aumento dessas métricas da paisagem significa maior fragmentação florestal, uniformidade e deformidade de fragmentos remanescentes de floresta primária na BHRP.

Referências

AZEVEDO, T. R., ROSA, M. R.; SHIMBO, J. Z.; MARTIN, E. V.; OLIVEIRA, M. G. **Relatório**

Anual do Desmatamento no Brasil. São Paulo: MapBiomas, 2019. 49 p.

BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 2, p. 239-247. 2005.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches**, livro *online*. Regional Research Institute, West Virginia University, 1999. Disponível em: <http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm> Acesso em 01 jan. 2022.

CABACINHA, C. D.; CASTRO, S. S.; GOLÇALVES, D. A. Análise da estrutura da paisagem da alta bacia do rio Araguaia na savana brasileira. **Revista Floresta**, v. 40, n. 4, p. 675-690, 2010.

- CENAMO, M.C.; CARRERO, G.C.; SOARES, P.G. **Reduções de emissões de desmatamento e degradação florestal (REDD+): estudos de oportunidades para a região Sul do Amazonas.** (Relatório Técnico, vol. 1). Manaus: IDESAM, 2011. 56p.
- DINIZ, A. M. A. Migração e Evolução da Fronteira Agrícola. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 13., 2002, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto – MG: UFMG, 2002. p. 1-23.
- ESCADA, M. I. S. **Evolução de padrões da terra na região Centro-norte de Rondônia.** 264 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.
- ESCADA, M. I. S.; ALVES, D. S. Dinâmica da cobertura florestal como indicador para caracterização de padrões de ocupação em Rondônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte, Brasil. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2003. p. 637-647.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Global Forest Resources Assessment 2020:** main report. Roma, 2020. 186 p.
- FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. BR-319 a rodovia Manaus-Porto Velho e o impacto potencial de conectar o Arco de desmatamento à Amazônia central. **Novos cadernos NAEA**, v.12, n. 1, p. 19-50, 2009.
- FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. **Formação de povoamentos florestais.** Colombo: Embrapa Floresta, 2008. 109 p.
- GAVLAK, A. A.; ESCADA, M. I. S.; MONTEIRO, A. M. V. Dinâmica de padrões de mudança de uso e cobertura da terra na região do Distrito Florestal Sustentável da BR-163. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba, Brasil. **Anais...** Curitiba, UFPR, 2011. p. 6152-6160.
- HUANG, C.; GEIGER, E. L.; KUPFRE, J. A. Sensitivity of landscape metrics to classification. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 2927-2948, 2006.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Coordenação Geral de Observação da Terra. **Programa de monitoramento da Amazônia e demais biomas. Desmatamento – Amazônia Legal** – Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>. Acesso em: 19 out. 2022.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Projeto PRODES digital: **Programa de cálculo do desmatamento da Amazônia**, 2017. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php> Acesso em: 20 out. 2020.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). **SPRING: tutorial de geoprocessamento.** Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/tutorial/>. Acesso em: 25 ago. 2015.
- LINHARES, J. M. S. **Dinâmica tempore-espacial de carbono orgânico e mercúrio em solo de sistemas agroflorestais no sul do Amazonas.** 164 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho. 2017.
- MACHADO, L. O. A fronteira agrícola na Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 54, n. 2, p. 27 - 54, 1992.
- MARGULLIS, S. **Causas do desmatamento da Amazônia Brasileira.** (Relatório Técnico, vol. 1). Brasília: Banco Mundial, 2003. 100p.
- MARTINELLI, M. **Mapas da geografia e cartografia temática.** São Paulo: Contexto, 2003. 111p.

- MARTINI, P. R. **Panamazônia: o domínio da floresta Amazônica na América do Sul**. São José dos Campos: INPE, 2002. 21 p.
- MARTINS, P. S. Evolutionary dynamic in amazonian “Roça de caboclo”. **Estudos Avançados**, v. 53, n. 19, p. 209 -220, 2005.
- MAURANO, L. E. P.; ESCADA, M. I. S. RENNO. C. D. Padrões espaciais de desmatamento e a estimativa da exatidão dos mapas do PRODES para Amazônia Legal Brasileira. **Revista Ciência Florestal**, v. 29, n. 4, p.1763-1775, 2019.
- MERTENS B.; LAMBIN, E. F. Spatial modeling of deforestation in southern Cameroon. Spatial disaggregation of diverse deforestation processes. **Applied Geography**, v. 17, n. 2, p. 143-162, 1997.
- MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250p.
- NUBE, T. G. **Impactos socioeconômicos das plantações florestais em Moçambique: um estudo de caso na Província do Niassa**. 94 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- PIROVANI, D. B.; SILVA, A. G.; SANTOS, A. R. Análise da paisagem e mudanças no uso da terra no entorno da RPPN Cafundó, ES. **Revista CERNE** v. 21, n. 1, p. 27-35, 2015.
- REIS, R. G.; LEAL, M. L. M. Análise das relações de focos de calor e desflorestamento no município de Lábrea, sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n.3, p. 38-53, 2020.
- SAITO, E. A.; FONSECA, L. M. G.; ESCADA, M. I. S.; KORTING, T. S. Efeitos da Mudança de Escala em padrões de desmatamento a Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, n. 3, p. 401-414, 2011.
- SILVA, A. E.; ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; WAICHAMAN, A. V. Influência da precipitação na qualidade da água do Rio Purus, **Revista Acta Amazônica**, v. 38, n. 4, p.733-742, 2008a.
- SILVA, M. P. S.; CÂMARA, G.; ESCADA, M. I. S.; SOUZA, R. C. M. Remote sensing image mining: detecting agents of land use change in Tropical Forest Areas. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 16, p. 4803-4822, 2008b.
- SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; GARCIA, R. C.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P. S.; MCGRATH, D. Cenário de desmatamento para a Amazônia. **Estudos Avançados**, v 19, n. 54, p. 137-152, 2005.
- VITEL, C. S. M. N.; FEARNSTIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. Análise da inibição do desmatamento pelas áreas protegidas na parte sudoeste do Arco de desmatamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal, Brasil. **Anais...** Natal, UFPR, 2009. p. 6377-6384.