

BR-319 como propulsora de desmatamento:
Simulando o impacto da rodovia Manaus-Porto Velho





BR-319 como propulsora de desmatamento:

Simulando o impacto da rodovia Manaus-Porto Velho

319

BR-319 COMO PROPULSORA DE DESMATAMENTO:
SIMULANDO O IMPACTO DA RODOVIA MANAUS-PORTO VELHO

Autores

Marcelo Augusto dos Santos Junior
Aurora Miho Yanai
Francisco Oliveira Sousa Junior
Ingrid Silva de Freitas
Heitor Paulo Pinheiro
Ana Cristina Ramos de Oliveira
Fabiano Lopez da Silva
Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça
Philip Martin Fearnside

Imagens

Arquivo Idesam
Páginas: 12, 13, 17, 26, 33 e 45: Carolle Alarcon
Página 43: Philip Martin Fearnside

Revisores

Fernanda de Almeida Meirelles
Mariano Colini Cenamo
Paula Carolina Paes Guarido

Projeto Gráfico e Diagramação

IG+ Comunicação Integrada

Os dados e opiniões expressos nesse relatório são de total responsabilidade dos autores e não refletem necessariamente a opinião dos financiadores e apoiadores deste estudo.

Ficha Catalográfica

S237b Santos Junior, Marcelo Augusto dos.

BR-319 como propulsora de desmatamento: simulando o impacto da rodovia Manaus-Porto Velho. / Marcelo Augusto dos Santos Junior; Aurora Miho Yanai; Francisco Oliveira Sousa Junior. – Manaus: IDESAM, 2018.

56 p. il. Color.

ISBN 978-85-64371-30-9

1. Desmatamento - Amazônia 2. Impacto ambiental I. Yanai, Aurora Miho II. Sousa Junior, Francisco Oliveira III. Título

CDD 333.7509811

22. ed.

CDU 504.06(811)

BR-319 como propulsora de desmatamento: Simulando o impacto da rodovia Manaus-Porto Velho

Marcelo Augusto dos Santos Junior^{1,2}, Aurora Miho Yanai²,
Francisco Oliveira Sousa Junior^{1,3}, Ingrid Silva de Freitas^{1,4}, Heitor Paulo Pinheiro¹,
Ana Cristina Ramos de Oliveira¹, Fabiano Lopez da Silva¹, Paulo Maurício Lima de
Alencastro Graça², Philip Martin Fearnside²

¹ Fundação Vitória Amazônica (FVA), Rua Estrela D'alva, 146, Aleixo, Manaus, Amazonas, Brasil.

² Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Avenida André Araújo, 2936, Aleixo, Manaus, Amazonas, Brasil.

³ Centro Universitário do Norte (UNINORTE), Avenida Leonardo Malcher, 715, Centro, Manaus, Amazonas, Brasil.

⁴ Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Avenida General Rodrigo Octavio Jordão Ramos, 1200, Coroado I, Manaus, Amazonas, Brasil.



O desenvolvimento e produção desse relatório tiveram suas emissões compensadas com o plantio de árvores na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Uatumã.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	06
LISTA DE TABELAS	07
LISTA DE FIGURAS	08
RESUMO	09
1 - INTRODUÇÃO	12
2 - MATERIAL E MÉTODOS	20
3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4 - CONCLUSÃO	45
BIBLIOGRAFIA	47

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação Gordon e Betty Moore pelo financiamento, o apoio do Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável da Amazônia - IDESAM, especialmente Fernanda Meirelles e Mariano Cenamo pelo convite para a realização deste trabalho. Agradecemos também o Conselho Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (proc. 311103/2015-4; 573810/2008-7), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) (proc. 708565) e Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) (PRJ15.125).

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Hierarquia temporal de reconstrução da BR-319 e construção das estradas.	27
Tabela 2. Desmatamentos observado (real) e simulado (AGROECO) para os diferentes cenários modelados e comparação com estudos anteriores.	36
Tabela 3. Desmatamentos observado (real) e simulado (AGROECO) para a faixa de distância de 5,5 km a partir da malha viária e contribuição proporcional desta faixa ao desmatamento total na área de estudo.	41
Tabela 4. Desmatamentos observado (real) e simulado (AGROECO) para as áreas protegidas e assentamentos.	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Rodovias federais (BR), estaduais (AM) e cobertura da terra para o ano de 2017.	19
Figura 2. Mapa da área de estudo.	23
Figura 3. Mapa de Cobertura da terra, Áreas Protegidas e Assentamentos.	23
Figura 4. Hierarquia temporal para a reconstrução da BR-319 e construção das estradas planejadas.	28
Figura 5. Modelo conceitual dos cenários elaborados.	30
Figura 6. Área de modelagem (área de estudo) com 501.185 km ² e área de análise dos resultados compreendendo 332.371 km ² .	31
Figura 7. Gráfico da similaridade mínima entre os mapas de uso da terra observado pelo PRODES para 2011, e o mapa simulado para o ano de 2011.	34
Figura 8. Mapa de uso da terra observado em 2011, dados projeto PRODES.	36
Figura 9. Mapa simulado para 2011 do cenário “Linha de Base Histórica”.	37
Figura 10. Mapa simulado para 2050 do cenário “Estradas Existentes”.	37
Figura 11. Mapa simulado para 2100 do cenário “Linha de Base Histórica”.	38
Figura 12. Mapa simulado para 2050 do cenário “Estradas Existentes”.	38
Figura 13. Mapa simulado para 2100 do cenário “Estradas Existentes”.	39
Figura 14. Mapa simulado para 2050 do cenário “Estradas Planejadas”.	39
Figura 15. Mapa simulado para 2100 do cenário “Estradas Planejadas”.	41

RESUMO

A rodovia BR-319, que liga Rondônia à Amazônia central, dá aos desmatadores acesso a vastas áreas da floresta amazônica. Somente uma parte relativamente modesta do impacto total da rodovia no desmatamento seria ao longo da rota da rodovia em si, sendo que o grande papel potencial da rodovia em permitir a migração para fronteiras mais distantes faz com que esta rodovia seja diferente de outras estradas amazônicas. Até agora, o desmatamento da Amazônia brasileira esteve quase inteiramente confinado à faixa nas bordas sul e leste da floresta, conhecida como o “arco do desmatamento”. A parte sul do Estado do Amazonas, que já tem acesso rodoviário a partir de Rondônia, é hoje um foco de desmatamento porque os atores e processos do arco do desmatamento se movem para essa área. O imenso bloco de floresta na parte ocidental do Estado do Amazonas tem sido poupado devido à falta de acesso, mas as estradas planejadas pelo governo estadual conectando-se à BR-319 abririam essa área para a migração. Espera-se também que a migração flua de Rondônia para Manaus e ao longo das estradas existentes para áreas no norte do Amazonas e em Roraima. O presente estudo representa apenas uma parte do impacto esperado da BR-319. Nosso estudo simula o desmatamento ao longo da rota da rodovia na área entre os rios Madeira e Purus e no bloco de floresta ao oeste do rio Purus que seria aberto por estradas estaduais planejadas, mas o impacto esperado na área de Manaus não é simulado, incluindo o Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus e a área acessada pela Ponte do Rio Negro. O impacto em Roraima também não está incluído. Elaboramos três cenários de desmatamento para a área ao longo da rodovia BR-319 e estradas planejadas conectadas a ela. Todos os cenários consideram a reconstrução da BR-319 em 2020 e 2024 e da AM-364 em 2024. O cenário “Linha de Base Histórica” não considera a construção das estradas planejadas e considera a taxa histórica das estradas na área de estudo total. O cenário “Estradas Existentes” considera uma mudança na taxa de desmatamento a partir de 2026, logo após a reconstrução da BR-319 e da AM-364 para representar a ocupação desencadeada devido à melhoria da malha viária. Neste cenário a taxa de desmatamento utilizada é de uma região de ramais novos no sul do município de Lábrea. O cenário “Estradas Planejadas” considera os mesmos parâmetros do cenário “Estradas Existentes” com o adicional da implementação das estradas planejadas propostas para a área de estudo total. A presença de estradas planejadas contribui para que parte do desmatamento simulado seja alocada ao longo das novas estradas, resultando em novas frentes de desmatamento nessas áreas. Nos três cenários, o desmatamento foi simulado no período de 2011 a 2100 utilizando o modelo AGROECO no software Dinamica EGO. Comparamos os resultados obtidos com estudos anteriores de modelagem do desmatamento para a Amazônia e para a região da BR-319. Os resultados

do desmatamento projetado nos diferentes cenários foram estimados considerando a “área de análise” (332.371 km²) apesar do modelo ter sido rodado para uma área de estudo maior com um total de 501.185 km². Esta área de análise representa 66% da área de estudo total. No cenário “Linha de Base Histórica” o aumento potencial no desmatamento foi de 277,2% em 2050, o tamanho da área desmatada simulada foi 37.637 km², correspondendo a 11,3% da área de análise considerada. Para 2100 os resultados obtidos foram respectivamente 603,3%, 70.177 km² e 21,1%. O resultado do cenário “Estradas Existentes” para 2050 foi um aumento de 528,1% no desmatamento potencial equivalendo a uma área de 69.669 km², 18,9% da área de análise. Em 2100 o desmatamento aumentou 1.080,3% em relação ao ano inicial da simulação, representando 117.764 km² de área desmatada, sendo 35,4% da área de análise. O cenário “Estradas Planejadas” em 2050 apresentou um aumento de 662,8% no desmatamento potencial representando uma área de 76.112 km², ou seja, 22,9% da área de análise. No ano de 2100 o desmatamento estimado aumentou 1.291,0% em relação ao ano inicial da simulação, acumulando uma área total de 138.788 km², ou 41,8% da área de análise. Em resumo, o estudo mostra que a BR-319 e suas estradas secundárias associadas têm um impacto substancial no desmatamento. Por maior que seja o impacto modelado, subestima o impacto total do projeto rodoviário.

ABSTRACT

BR-319 AS A DRIVER OF DEFORESTATION: SIMULATING THE IMPACT OF BRAZIL'S MANAUS-PORTO VELHO HIGHWAY

The BR-319 highway connecting Rondônia to central Amazonia gives deforesters access to vast areas of Amazon forest. Only a relatively modest part of the highway's total impact on deforestation would be along the highway route itself, the highway's major potential role in allowing migration to more distant frontiers setting this road apart from other Amazonian highways. So far Brazil's Amazonian deforestation has been almost entirely confined to the southern and eastern edges of the forest, known as the “arc of deforestation.” The southern part of the state of Amazonas, which has road access from Rondônia, is a hotspot of deforestation as actors and processes from the arc of deforestation move into this area. The immense block of forest in the western half of the state of Amazonas has been spared due to lack of access, but planned state-government roads connecting to the BR-319 would open this area to

migration. Migration can also be expected to flow from Rondônia to Manaus and along existing roads to areas in northern Amazonas and in Roraima. The present study represents only a portion of the BR-319's expected impact. Our study simulates deforestation along the highway route in the area between the Madeira and Purus Rivers and in the forest block to the west of the Purus River that would be opened by planned state-government roads, but expected impact in the Manaus area is not simulated, including the Agriculture and Ranching District of the Manaus Free-Trade Zone and the area accessed by the Rio Negro Bridge. Impact in Roraima is also not included. We developed three deforestation scenarios for the area along Highway BR-319 and along planned roads connected to it. All scenarios consider the reconstruction of BR-319 in 2020 and 2024 and AM-364 in 2024. The "Historical Baseline" scenario does not consider the construction of planned roads and considers the historical deforestation rate along roads in the study area as a whole. The "Existing Roads" scenario considers a change in the deforestation rate beginning in 2026 (shortly after the reconstruction of BR-319 and AM-364) to represent the occupation triggered by the improvement of the road network. In this scenario the deforestation rate used is from a region of new secondary roads in the southern portion of the municipality of Lábrea. The "Planned Roads" scenario considers the same parameters as the "Existing Roads" scenario, with the additional implementation of planned roads throughout the study area. The presence of planned roads contributes to part of the simulated deforestation being allocated along the new roads, resulting in new deforestation fronts in these areas. In the three scenarios, deforestation was simulated over the period from 2011 to 2100 using the AGROECO model in Dinamica EGO software. The results obtained were compared with those of previous studies modeling deforestation for the Amazon and for the BR-319 region. The results for projected deforestation in the different scenarios were estimated considering the "area of analysis" (332,371 km²), although the model was run for a total study area of 501,185 km². The area of analysis represents 66% of the total study area. In the "Historical Baseline" scenario, the potential increase in deforestation was 277.2% in 2050, the size of the simulated deforested area was 37.637 km², corresponding to 11.3% of the area of analysis. For 2100 the results obtained were, respectively, 603.3%, 70,177 km² and 21.1%. The result in the "Existing Roads" scenario for 2050 was an increase of 528.1% in potential deforestation (an area of 62,669 km², or 18.9% of the area of analysis). In 2100 deforestation increased by 1080.3% in relation to the initial year of the simulation, representing 117,764 km² of deforestation or 44.5% of the area of analysis. The "Planned Roads" scenario in 2050 showed a 662.8% increase in potential deforestation, representing an area of 76,112 km², or 27.9% of the area of analysis. By 2100 estimated deforestation increased by 1291.0% in relation to the initial year of the simulation, accumulating a total area of 138,788 km², or 41.8% of the area of analysis. In summary, the study shows that the BR-319 and its associated side roads have a substantial impact on deforestation. Large as the modeled impact is, it understates the total impact of the highway project.





Introdução

A manutenção da floresta amazônica e de seus serviços ambientais é de suma importância para o Brasil, pois a perda desses serviços afetaria diretamente a vida dos brasileiros em todo o País. A dependência da região Sudeste, densamente povoada, e das áreas agrícolas da região Centro-Oeste de chuvas torna o desmatamento da Amazônia uma ameaça palpável aos interesses nacionais (van der Ent *et al.* 2010; Arraut *et al.* 2012; Zemp *et al.* 2014; Fearnside 2015). O papel do desmatamento na perda de biodiversidade e na exacerbação do aquecimento global também têm consequências no Brasil, assim como no resto do mundo (e.g., Baidya & Avissar 2002; Fearnside 2005, 2006; Pinto *et al.* 2009; Garcia-Carreiras & Parker 2011). A floresta e seus serviços podem ser perdidos não apenas pelo corte deliberado de árvores, mas também por secas, incêndios e outros efeitos que estão aumentando a partir de mudanças locais e globais. O cruzamento de “pontos de desequilíbrio” (“*tipping points*”), incluindo os do desmatamento (Lovejoy & Nobre 2018) e aqueles da temperatura global (Steffen *et al.* 2018), pode tornar a degradação e a perda da floresta irreversíveis.

Até agora, o desmatamento na Amazônia brasileira tem sido quase inteiramente limitado ao “arco do desmatamento” ao longo das margens sul e leste da floresta. Apenas recentemente, rodovias como a BR-163 (Cuiabá-Santarém) começaram a mudar esse padrão, fornecendo rotas para a migração de atores e investimentos do arco do desmatamento para as áreas de floresta tropical mais ao norte, com impacto notável no Estado do Pará. Agora, a questão primordial é o impacto potencial da reconstrução da rodovia BR-319 (Manaus-Porto Velho). Por maior que seja o impacto da rodovia no Pará, a abertura da BR-319 tem um potencial de impacto ainda maior porque abre o acesso a áreas muito mais extensas - cerca de metade do que resta da floresta amazônica brasileira (Fearnside 2018a).

Assim como a degradação irreversível da floresta amazônica pode ocorrer ao atravessar “pontos de desequilíbrio” biológicos, os processos sociais também podem escapar do controle e destruir a floresta por meio de sua própria dinâmica interna, independente dos planos do governo (Fearnside 2001, 2018b). A BR-319 é um projeto de desenvolvimento que implica na abertura de vastas novas fronteiras de desmatamento, onde, na prática, o desmatamento escaparia do controle social. A história da BR-319 já reflete esse padrão. Vila Realidade, localizada no sul do trecho Manaus-Humaitá da rodovia, começou como uma invasão com a chegada de apenas dois ônibus de sem terras. Hoje é uma cidade que cresce explosivamente ao lado de um projeto de assentamento legalizado pelo INCRA. Um grupo oriundo da Vila Realidade já iniciou uma invasão na parte norte do trecho Manaus-Humaitá (Assayag 2016). A nova invasão é ao norte do trecho central conhecido como o “meião”, que antigamente servia como barreira intransponível para a migração do norte.

A discussão do impacto da BR-319 limitou-se em grande parte à faixa de terra ao longo da rota da rodovia no interflúvio do rio Madeira-Purus. No atual trabalho damos um passo adiante, expandindo a consideração para o vasto bloco de floresta a oeste do rio Purus, onde estradas adicionais conectadas à BR-319 estão planejadas. Ressaltamos, no entanto, que o impacto da abertura da BR-319 se estende muito além da área considerada no presente estudo, incluindo o Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus (DAS) (Fearnside, 2010), a área acessada desde 2011 por meio da Ponte Jornalista Phelippe Daou sobre o Rio Negro (Ramos *et al.* 2018) e o Estado de Roraima (Barni *et al.* 2015).

Os processos que levam ao desmatamento são muitos e incluem diferentes conjuntos de eventos que seriam as causas ou vetores, como especulação de terras, incentivos tributários, migração humana, criação de assentamentos rurais, aumentos dos impostos, produções para exportação e subsistência, crescimento populacional, flutuações econômicas, e a execução de obras de infraestrutura como a construção de hidrelétricas e a expansão da malha viária (Fearnside 1989, 2005, 2014, 2017). Estes eventos geram dois padrões que se repetem ao longo do tempo levando ao acúmulo do desmatamento em detrimento da paisagem florestal na região amazônica, a expansão das áreas desmatadas no passado e o estabelecimento de novos focos de desmatamento (Fearnside 1989).

Aproximadamente 20% da floresta na Amazônia brasileira foram desmatados até 2017 (INPE 2018). O efeito que a malha viária possui como vetor de desmatamento (Pfaff 1999; Laurance *et al.* 2001) pode ser compreendido considerando a área desmatada próxima às estradas em relação à área total desmatada da Amazônia brasileira onde, 94,9% de todo o desmatamento está dentro de uma zona acessível com 5,5 km de distância de algum tipo de estrada (Barber *et al.* 2014). Para conter o avanço do desmatamento na região sobre a floresta, os Governos Federal e Estadual adotaram como medida na contenção do desmatamento a criação de áreas legalmente protegidas para a conservação (SDS 2005).

Baseado em processos históricos de uso e cobertura da terra na Amazônia, e de obras de desenvolvimento envolvendo a reconstrução e expansão da malha viária, o presente estudo teve a finalidade de produzir três cenários futuros de desmatamento para a região da BR-319 por meio de simulações de modelagem LUCC (*Land Use & Cover Change*) utilizando uma versão modificada e atualizada do modelo AGROECO (Fearnside *et al.* 2009). Geramos projeções de desmatamento anuais para a área de interesse a fim de avaliar o impacto potencial do aumento do desmatamento relacionado à reconstrução da rodovia BR-319, com e sem a construção das estradas planejadas estaduais ligadas a esta rodovia.

A RODOVIA BR-319 E O DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA

O interflúvio Madeira-Purus é uma região com perspectiva de forte alteração antrópica num futuro próximo, pois é cortado pela rodovia federal BR-319 (Figura 1). Ce-

nários baseados em modelos de uso da terra para a bacia amazônica evidenciam que a reconstrução da rodovia BR-319 (Manaus – Porto Velho) estimularia mais desmatamento do que a pavimentação da BR-163 (Cuiabá – Santarém) e da Interoceânica (Assis Brasil – Cuzco) (Brandon *et al.* 2005; SDS 2005; Soares-Filho *et al.* 2006). Isso indica que a reconstrução da BR-319 seria danosa ao ambiente natural, pois, facilitaria o acesso a áreas remotas de floresta da Amazônia para fazendeiros, madeireiros, grileiros e outros atores envolvidos em processos de alteração da paisagem natural (Fearnside 2002, 2017 Fearnside & Laurance 2002; Fearnside & Figueiredo 2016).

A construção da BR-319 iniciou em 1968 e foi integrada ao Programa de Integração Nacional – PIN do governo federal em 1970. A obra foi concluída em 1973 e em 1976 a estrada foi oficialmente inaugurada (UFAM & DNIT 2009; Oliveira Neto 2014), mantendo-se trafegável de 1976 a 1988. Em 1988 a BR-319 ficou intransitável e foi abandonada devido ao alto custo de manutenção constante da estrada e à falta de trânsito suficiente para justificar este custo. Este período ficou marcado pela interrupção do serviço de transporte intermunicipal entre Manaus e Porto Velho que era realizado por ônibus (Fearnside *et al.* 2009; TCU 2010).

Em 1996, 2000 e 2002 a reconstrução da estrada foi incorporada em programas de obras de desenvolvimento do governo federal, respectivamente o “Brasil em Ação”, o “Avança Brasil” e o “Plano de Aceleração do Crescimento – PAC” (Fearnside *et al.* 2009; Rodrigues 2013). Diante da perspectiva de reconstrução da estrada e de possíveis impactos antrópicos, em 2006 foi criada a Área sob Limitação Administrativa Provisória – ALAP na região ao longo da BR-319, cujo objetivo era que nenhum empreendimento fosse realizado até que estudos técnicos fossem feitos para a criação de Unidade de Conservação, ao final deste processo 5 unidades federais e 6 estaduais foram criadas (SDS 2005; DOU 2006; Fearnside *et al.* 2009; Graça *et al.* 2014).

A conclusão desta obra acarretará em grande fluxo de tráfego rodoviário na região. A migração principal seria na direção Porto Velho-Manaus, sendo que Rondônia é a principal fonte de migrantes nas áreas com conexão rodoviária com esse estado, como o sul do Estado do Amazonas. Pressões de ocupação humana são iniciadas a partir do extremo norte da rodovia em Manaus, e para o interior do Amazonas (Figura 1). Historicamente o aumento e surgimento de áreas desmatadas nas frentes ilegais de desmatamento da Amazônia estão relacionados a um conjunto de fatores, tais como terras disponíveis, facilitação de vias de acesso, exploração de recursos naturais e migração de mão-de-obra informal (SDS 2005).

A construção de novas estradas oficiais e não oficiais impulsiona processos destrutivos na paisagem que muitas vezes estão fora do controle do governo. A presença das estradas está relacionada ao aumento da ocorrência do desmatamento na sua proximidade, fornecendo e facilitando o acesso às florestas remotas promovendo o avanço da fronteira agrícola, da atividade madeireira e da valorização das terras (Fearnside 2002; Fearnside &

Laurance 2002; Brandon *et al.* 2005; Ferreira *et al.*, 2005; Soares-Filho *et al.* 2004, 2005, 2006). Uma vez novamente trafegável, a BR-319, facilitaria a migração do “Arco do Desmatamento”, do sul da região amazônica, para novas e mais distantes fronteiras ao norte com os impactos excedendo os limites do Amazonas e chegando até Roraima (Fearnside & Graça 2006a; Barni *et al.* 2015).

A área de influência física da rodovia BR-319 atinge diretamente 11 municípios atravessando seus territórios, sendo estes: Beruri, Borba, Canutama, Careiro Castanho, Careiro da Várzea, Humaitá, Manaquiri, Manaus, Manicoré, Tapauá, e Porto Velho. É capaz de influenciar, também, municípios conectados à BR-319 por outras rodovias como Lábrea pela rodovia federal BR-230 (Transamazônica) e Autazes pela rodovia estadual AM-254 (Meirelles *et al.* 2018) (Figura 1). O Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da BR-319 afirma que “No âmbito econômico, a rodovia tem como objetivo ser uma opção de escoamento da produção industrial de Manaus para o centro-sul do país” (UFAM & DNIT 2009, Vol. 1, p. 33), porém estudos realizados contradizem a presunção de viabilidade econômica dessa afirmação (Fearnside & Graça 2006a,b; Teixeira 2007; Fleck 2009). A análise comparativa dos custos de diferentes opções para o escoamento da produção de Manaus para São Paulo indicou que transporte via a BR-319 seria 19% mais caro que a principal modalidade atual (barcaças carregando carretas até Belém, seguido de transporte rodoviário de Belém até São Paulo), enquanto transporte de containers em navios oceânicos por cabotagem de Manaus até Santos seria 37% mais barato que a modalidade atual (Teixeira 2007).

Uma análise econômica pelo *Conservation Strategy Fund* indicou que a BR-319 causaria prejuízo atualizado de até 316 milhões de reais em um período de 25 anos, demonstrando que a reconstrução da BR-319 não é viável economicamente, e este prejuízo pode ser



maior se forem considerados os custos ambientais e as medidas mitigatórias e compensatórias que devem ser implantadas para reduzir os impactos ambientais (Fleck 2009).

Devido ao destaque da rodovia e da importância ecológica da região, estudos de modelagem do desmatamento foram realizados tentando prever os possíveis impactos do desmatamento na região e sobre sua diversidade biológica. O primeiro estudo de modelagem de mudança no uso e cobertura da terra para a região da BR-319 utilizou o modelo AGROECO e foi elaborado por Fearnside *et al.* (2009). O modelo desenvolvido por estes autores foi concebido para simular o desmatamento e as emissões de gases do efeito estufa na área sobre influência da BR-319 no período de 2007 a 2050. O modelo utilizou resolução espacial de 500 m e considerou a reconstrução da BR-319 em 2011 e a construção de estradas planejadas até 2024. Foram criados dois cenários: o primeiro foi o cenário “Referência”, que considerou as áreas protegidas existentes até 2007, cujo resultado indicou que em 2050 38% da ALAP estariam desmatados, e o segundo cenário, de “Conservação”, que utilizou as áreas protegidas existentes e propostas, resultou em 22% da ALAP desmatada até 2050.

Posteriormente, Graça *et al.* (2014) e Santos Junior *et al.* (2015a,b) utilizaram o modelo AGROECO para simular o desmatamento na ALAP de 2011 a 2030 sob a perspectiva das áreas protegidas existentes e as que foram criadas de 2008 a 2010. O primeiro cenário criado, “Sem Estrada”, não considera a reconstrução da BR-319 e simula a tendência histórica do desmatamento na região, e o segundo, “Com Estrada”, considera a reconstrução da rodovia e utiliza o histórico de desmatamento em áreas afetadas por rodovias trafegáveis, a BR-364 e BR-230. O cenário “Sem Estrada” indicou uma redução de 9,5% na cobertura florestal ao final de 20 anos e no cenário “Com Estrada” essa perda foi de 16,6%.

A cobertura vegetal original nesta região encontra-se atualmente bem conservada nas áreas distantes às estradas oficiais (rodovias federais e estaduais) (Figura 1) e não oficiais (estradas endógenas conhecidas localmente como “ramais”). O interflúvio Madeira-Purus é o mais estreito dos grandes interflúvios na Amazônia brasileira e é considerado uma região de alta biodiversidade e endemismo de espécies. Levantamentos realizados na região pelo Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO), pela Rede Temática de Pesquisa em Modelagem Ambiental da Amazônia – GEOMA (MCT 2006), Programa de Pesquisa em Biodiversidade (PPBio), e a Wildlife Conservation Society – Brasil (WCS – Brasil) encontraram alta diversidade de espécies de aves, mamíferos, peixes, aracnídeos, serpentes, palmeiras e herbáceas (Bobrowiec 2007; Cohn-Haft *et al.* 2007; Henriques *et al.* 2007; Py-Daniel *et al.* 2007; Röhe 2007, 2012; Silva *et al.* 2007; Figueiredo *et al.* 2008; Röhe *et al.* 2008; Moulatlet *et al.* 2015; Fraga 2016). Por exemplo, a avifauna supera 572 espécies, incluindo espécies migratórias estacionais como tucanos, grandes louros e papagaios, e o número de mamíferos chega a 165 espécies, sendo que mais de 80 são de morcegos (Cohn-Haft *et al.* 2007; Röhe 2007, 2012; Röhe *et al.* 2008; McGinley 2008).

Informações de biodiversidade sobre a região do médio e alto Purus são escassas, sendo estas regiões consideradas ainda lacunas de conhecimento acerca da distribuição

de algumas espécies de mamíferos amazônicos (Santos *et al.* 2015; Sampaio *et al.* 2018). No interflúvio Purus-Juruá espécies com a distribuição ainda pouco compreendida como *Sciurillus pusillus* (E. Geoffroy, 1893) podem ser encontradas (Röhe 2007).

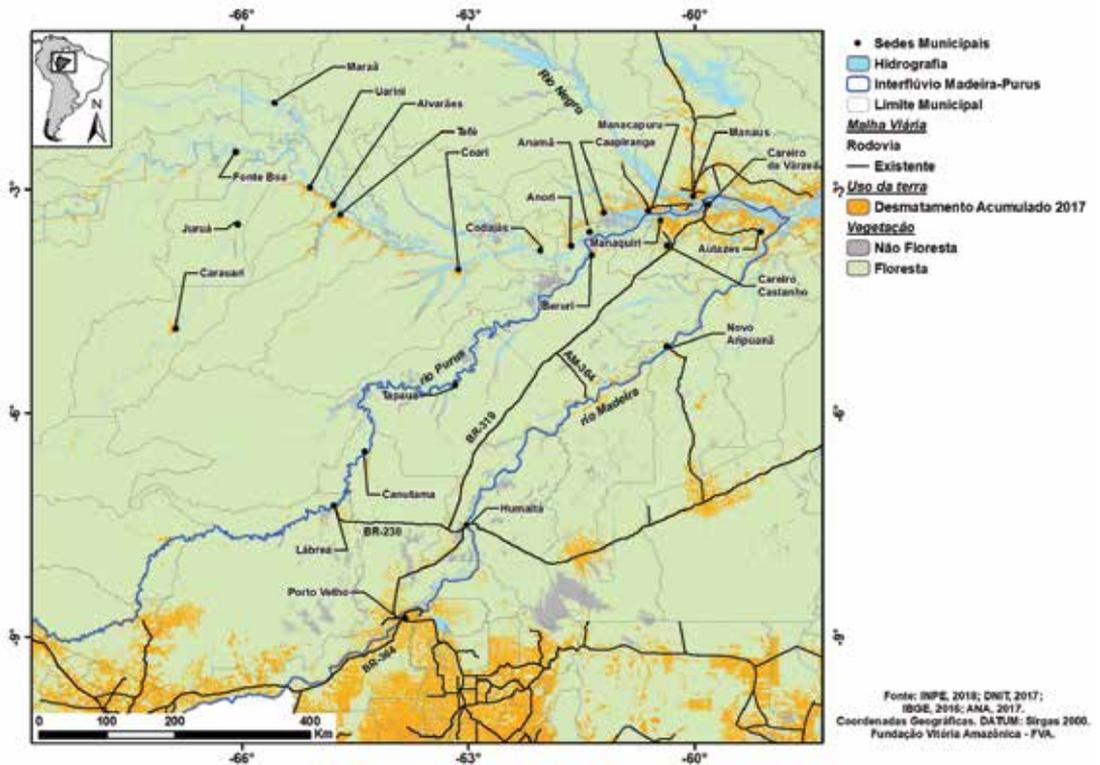


FIGURA 1 – Rodovias federais (BR), estaduais (AM) e cobertura da terra para o ano de 2017.

Esta região destaca-se pela ocorrência de novas espécies de aves endêmicas e recém-descritas na literatura, como *Cyanopcorax hafferi* (Cohn-Haft *et al.* 2013; Santos Junior 2008) e *Herspilochmus praedictus* (Cohn-Haft & Bravo 2013), e uma nova espécie de primata, como *Saguinus fuscicollis mura* (Röhe *et al.* 2009), além do registro de expansão da distribuição conhecida de espécies como *Bassaricyon alleni* (Sampaio *et al.* 2010). A riqueza de espécies e áreas de endemismo encontradas nos levantamentos de biodiversidade demonstra a importância de priorizar áreas para conservação ambiental nesta região (MMA 1999; Cohn-Haft *et al.* 2007; Röhe 2007, 2012; Silva *et al.* 2007; Fraga 2016). Estimativas cruzando resultados de modelos de distribuição de espécies e modelos de uso e cobertura da terra indicaram que a perda de habitat para espécies de mamíferos, aves e palmeiras pode variar de 10 a 16% em 20 anos após a reconstrução da BR-319 (Graça *et al.* 2014; Santos Junior *et al.* 2015a,b).





AMAZONAS

Manaus

ACRE

Porto Velho

RONDÔNIA

Material e Métodos

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo abrange o interflúvio Madeira-Purus, onde está localizada a rodovia BR-319, se estendendo a até o limite norte dos municípios de Maraã, Fonte Boa, Codajás, Caapiranga e Manacapuru, oeste de Carauari, Tapauá, Juruá e Lábrea (Figura 2). A BR-319 possui 877 km de comprimento cortando o Estado do Amazonas de nordeste a sudoeste interligando Manaus (Amazonas) e Porto Velho (Rondônia). A estrada está localizada no eixo central do interflúvio formado entre os rios Madeira e Purus. A área de estudo total abrangeu uma área de 501.185 km². A área de estudo é a área que foi modelada, e dentro desta foi feito um recorte de uma “área de análise” de 332.371 km², para mostrar resultados nos eixos da BR-319 e AM-366.

A região apresenta áreas de alta pluviosidade, na sua parte central a precipitação média é de 2.500 mm por ano, 1.500 mm na parte sul e 2.000 mm ao norte, com temperaturas médias anuais de 27° C e alta umidade (Projeto RADAMBRASIL 1978). A drenagem do interflúvio Madeira-Purus é formada por uma densa rede hidrográfica com numerosos riachos ou igarapés e lagos de águas escuras, a drenagem sendo principalmente representada por três grandes rios na margem direita o rio Madeira, ao centro o Purus e ao norte o rio Solimões, e seus afluentes (Projeto RADAMBRASIL 1978).

A topografia é plana para a maior parte da área, contrastando com relevos mais elevados como aqueles das Serras e Chapadas do Cachimbo, na região sudeste do interflúvio (Projeto RADAMBRASIL 1978). A densidade demográfica na região é baixa, cuja concentração está principalmente ao longo dos rios e das estradas. A região central do interflúvio é ocupada por um mosaico de formações vegetais que abarca florestas de terra firme, florestas alagáveis, como as várzeas e os igapós, manchas de cerrado e vegetações naturais sobre solos arenosos (neossolos quartizarenicos), como as campinaranas gramíneo-lenhosas (campinas) e as campinaranas arbóreo-arbustivas e florestadas (Velloso 1991).

Desde o ano de 2007, foram criadas unidades de conservação na parte central do interflúvio Madeira-Purus. Isto faz com que quase todo o território ao redor da BR-319 possua algum tipo de destinação ou proteção, seja como área protegida, assentamento, imóvel particular ou público, enquanto a margem esquerda do rio Purus, possui ainda, extensa área de floresta desprotegida (Figura 3), trazendo preocupação sobre a conservação dos ambientes naturais e das espécies ali presentes. Ao longo da BR-319, BR-230 e AM-364 existem hoje 12 áreas protegidas, na área e modelagem deste estudo (Figura 3) 42,6% do território está dentro de áreas protegidas, 5,6% dentro de assentamentos e 51,8% sem qualquer tipo de proteção legal ou destinação.

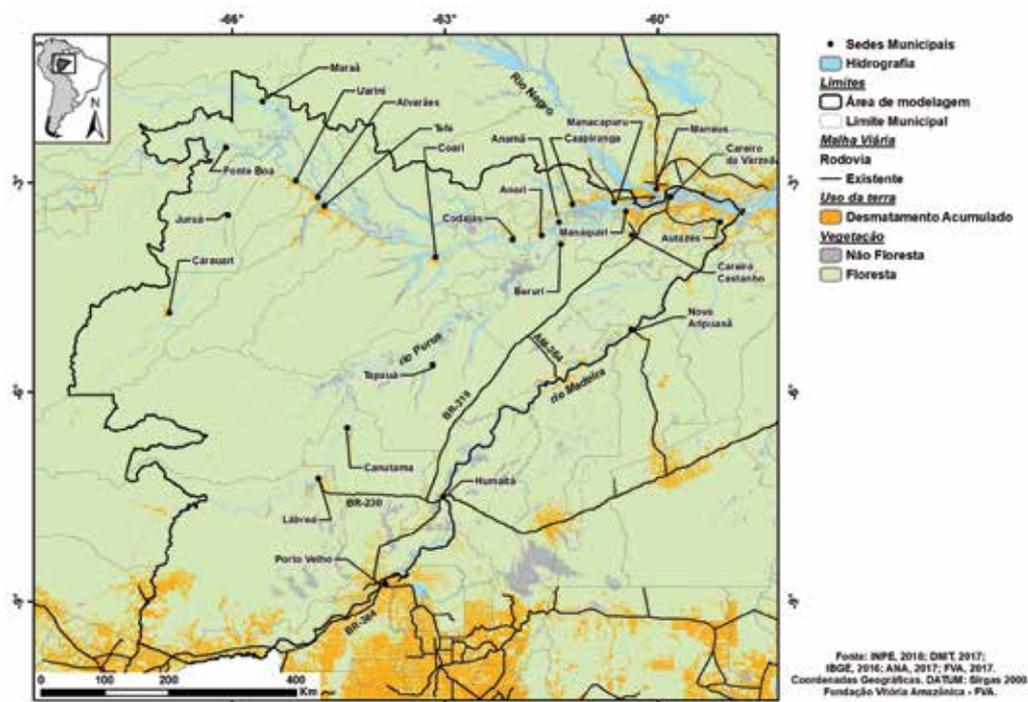


FIGURA 2 – Mapa da área de estudo.

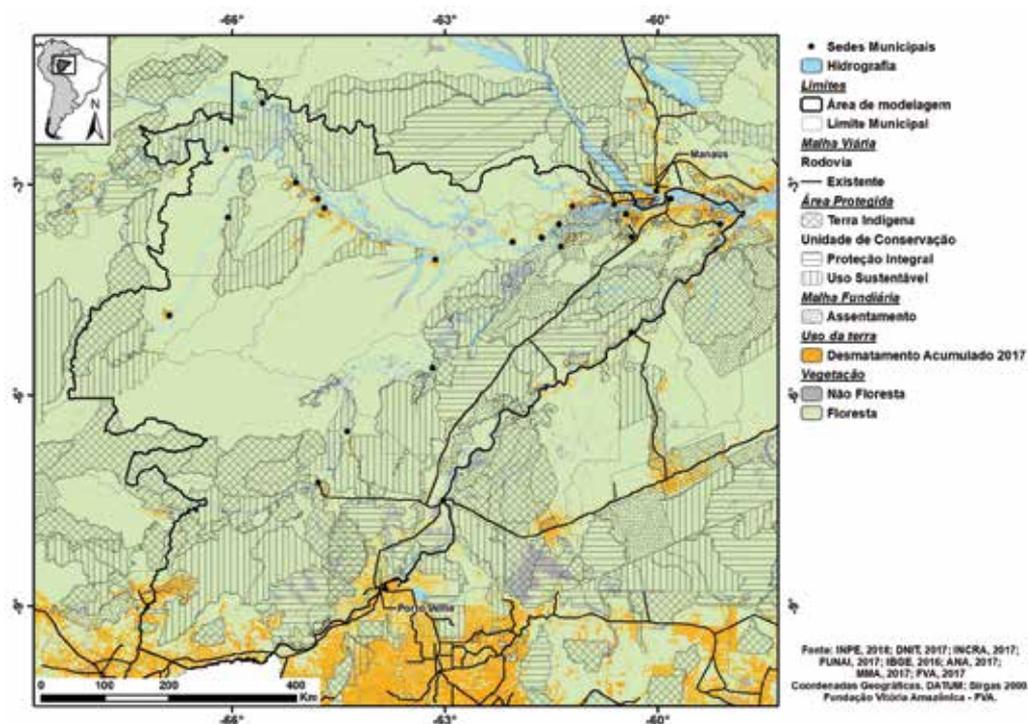


FIGURA 3 – Mapa de Cobertura da terra, Áreas Protegidas e Assentamentos.

MODELAGEM DE MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DA TERRA

A modelagem da mudança no uso e cobertura da terra sob influência da BR-319 e rodovias estaduais planejadas de 2011 até 2100 foi realizada utilizando o modelo AGROECO (Fearnside *et al.* 2009) na plataforma para modelagem de dinâmicas ambientais Dinamica EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*) (Soares-Filho *et al.* 2002, 2006).

Etapas da modelagem

O processo de modelagem utilizado pode ser dividido basicamente em quatro etapas: calibração, simulação, validação e execução. Resumidamente, na fase de calibração estimamos e ajustamos os parâmetros do modelo para o período entre 2000 e 2010. Inicialmente calculamos os coeficientes dos pesos de evidência (Bonham-Carter *et al.* 1989) a partir dos mapas de uso da terra inicial (2000) e final (2010) (material suplementar: Anexo I), variáveis estáticas (material suplementar: Anexo II) e estradas existentes em 2010 (material suplementar: Anexo III). Após a obtenção dos coeficientes dos pesos de evidência realizamos um teste de independência condicional para estimar a correlação entre estes. Nesta etapa ainda calculamos a matriz da taxa média de transição, obtendo as taxas de alteração da cobertura vegetal resultantes do desmatamento.

Na fase de simulação do modelo comparamos o mapa simulado para 2011 com o mapa real, dados observados, disponibilizado pelos dados do projeto PRODES para este mesmo ano. A comparação foi realizada utilizando o método de similaridade *fuzzy* modificado (Hagen 2003). Este método considera a mudança (i.e., manchas de desmatamento simuladas) dentro de um contexto de vizinhança. Com uma similaridade satisfatória, os cenários foram projetados, executando o modelo.

Taxa média de transição

A taxa de transição determina a proporção de células que mudará de uma classe para outra. Neste estudo, foi considerada a transição da classe floresta para desmatamento. Assim, o número de células de floresta que será alterada de floresta para desmatamento é obtido pela multiplicação da taxa de transição de um determinado ano pelo número de células de floresta do ano anterior.

No cálculo da matriz da taxa média de transição utilizamos os conceitos de Superfície de Floresta Fundiária (SFF) e Superfície de Floresta Acessível (SFA) (Fearnside *et al.* 2009). A SFF e a SFA são faixas de distância (zona tampão ou *buffer*) a partir das estradas existentes (primárias e secundárias), a SFF representa a área de floresta disponível para propriedades de pequena ocupação e a SFA representa a floresta acessível para a expansão da rede de estradas (Fearnside *et al.* 2009). Os valores de área para SFF e SFA são

atualizados a cada iteração do modelo (ano de simulação) com o incremento do desmatamento gerado pelas novas estradas simuladas (Yanai *et al.* 2012).

Iniciação e expansão de manchas de desmatamento.

As estradas são fundamentais no direcionamento de desmatamento, sendo que proximidade às estradas, assim como proximidade aos desmatamentos anteriores, aumenta a probabilidade de células de floresta serem transformadas em desmatamento. Na simulação, estradas secundárias são construídas pelo módulo “construtor de estradas” do software Dinamica EGO (Rodrigues *et al.* 2007). A localização dessas estradas segue de acordo com o menor “custo” de construção indicado por mapas de “fricção” e de “atratividade” (material suplementar: Anexo IV). Esses mapas são baseados em feições geográficas e nas restrições associadas às áreas protegidas.

O surgimento de novas manchas de desmatamento é feito pelo módulo “*patcher*”, e a expansão das manchas já existentes é realizada pelo módulo “*expander*”, ambos do Dinamica EGO. A proporção de novas células de desmatamento alocada a cada uma destas funções é um parâmetro baseado na replicação aproximada do padrão de desmatamento observado historicamente.

Coeficientes dos pesos de evidência

A abordagem metodológica de pesos de evidência é fundamentada na teoria Bayesiana de probabilidade condicional onde a probabilidade *a posteriori* pode ser estimada dado um conjunto de condições favoráveis conhecidas *a priori*. É uma técnica de modelagem criada e utilizada inicialmente para diagnóstico médico, posteriormente foi aplicada no mapeamento de potencial mineral (Bonham-Carter *et al.* 1989; Bonham-Carter 1994; Agterberg & Cheng 2002). A modelagem de pesos-de-evidência pode ser sensível a violações de independência condicional conforme demonstrado num exemplo de “redundância” apresentado por Agterberg & Cheng (2002). Os pesos de evidência influenciam nas probabilidades de uma célula mudar de um estado a outro, no caso do atual estudo, de floresta para desmatamento. Pesos com valores positivos representam locais mais propensos a serem desmatados, e valores negativos representam o inverso.

Modelo regionalizado

Nesta modelagem usamos o conceito de regionalização, cuja área de estudo foi dividida em regiões menores com a finalidade de representar as diferentes dinâmicas de desmatamento na região. Nesta abordagem, a área de estudo pode ser dividida em regiões distintas e, portanto, as taxas de desmatamento e a distribuição espacial das manchas de desmatamento são específicas para cada região. Isso permite que a dinâmica do

desmatamento seja simulada de forma mais refinada e próxima da realidade de cada região analisada (Roriz *et al.* 2017).

A área de estudo é heterogênea, com cidades totalmente isoladas e sem malha viária intermunicipal e onde o único meio de transporte é o fluvial, e com cidades que estão às margens das rodovias oficiais e ramais, sendo este seu principal meio de transporte intermunicipal. Além disso, existem áreas com desmatamento histórico que não atendem a nenhum destes dois critérios, ou seja, a área desmatada está longe dos rios e longe das estradas. Assim dividimos a área de estudo inicialmente em duas sub-regiões: “Estradas e Rios” e “Restante”. A facilidade de acesso denota em diferenças nas taxas de transição do estado de floresta para desmatamento, onde a taxa da sub-região “Estradas e Rios” é maior que a taxa da sub-região “Restante”.

Melhoria e expansão da malha viária

Os dados das estradas planejadas correspondem àqueles presentes no arquivo vetorial (*shapefile*) de malha-viária do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT 2017). A ordem das etapas de reconstrução da BR-319 e a construção das estradas planejadas para a área de estudo foi iniciada pela reconstrução das rodovias oficiais existentes, a BR-319 e a AM-364, passando às planejadas, obedecendo a hierarquia temporal a seguir (Tabela 1 e Figura 4).



Imagem aérea de região do Trecho do Meio da BR-319

TABELA 1 – Hierarquia temporal de reconstrução da BR-319 e construção das estradas.

Ordem	Ano	Rodovia	Parte	Comprimento (km)
-	2011	Ramais	-	13.846,9
-	2011	AM-070	-	49,9
-	2011	AM-254	-	94,1
-	2011	AM-352	-	41,4
-	2011	AM-354	-	42,9
-	2011	BR-230	-	222,5
-	2011	BR-319*	-	334,9
-	2011	BR-364	-	161,1
1	2020	BR-319	1	351,2
2	2022	BR-319	2	173,4
3	2024	AM-364	1	85,0
4	2026	AM-356	1	112,7
5	2028	AM-360	1	114,1
6	2030	AM-366	1	124,1
7	2032	AM-366	2	94,7
8	2034	AM-343	1	104,8
9	2036	AM-366	3	103,9
10	2038	AM-366	4	122,6
11	2040	AM-366	5	128,4
12	2042	BR-230	1	283,9
13	2044	BR-230	2	343,0
14	2046	AM-333	1	171,0
15	2048	BR-317	1	280,5
16	2050	AM-175	1	40,8
Total				17.427,9

* Subtraídas as partes 1 e 2 da BR-319 que serão reconstruídas no modelo.

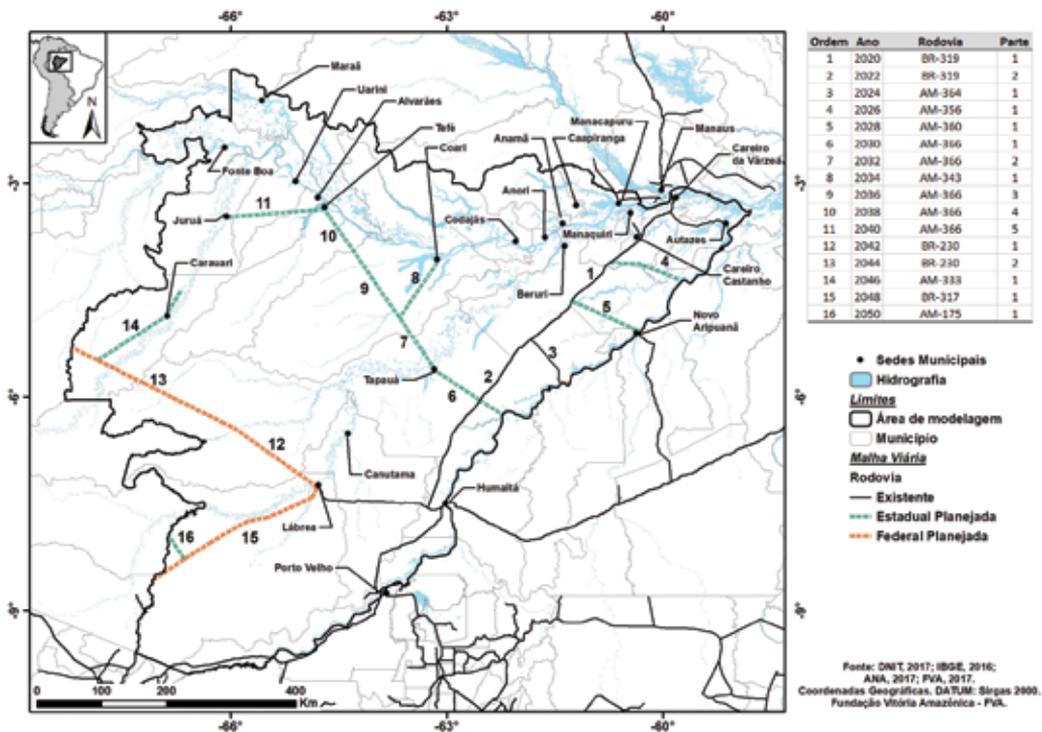


FIGURA 4 – Hierarquia temporal para a reconstrução da BR-319 e construção das estradas planejadas.

Calibração do modelo

O modelo foi calibrado usando taxas de desmatamento para o período de 2000 a 2010. Para o cenário Linha de Base Histórica utilizamos a área de modelagem (área de estudo) e para os cenários Estradas Existentes e Estradas Planejadas em áreas que escolhemos como oferecendo circunstâncias comparáveis às áreas que seriam abertas por estradas secundárias da BR-319 (Material Complementar, Tabela S-1).

Validação do modelo

O teste da modelagem ou validação é uma estimativa do desempenho do modelo. A confiabilidade dos resultados encontrados na modelagem depende, em grande parte, do quão bem o modelo pode gerar um comportamento realista, neste caso semelhante ao observado num determinado ano. Na validação do modelo comparamos o mapa simulado para um determinado ano com o mapa de referência obtido pelo PRODES. Utilizamos o

método *fuzzy* modificado para calcular a similaridade das classes de cobertura da terra e sua alocação espacial dentro de uma janela de vizinhança crescente (Hagen 2003). Este método já foi anteriormente empregado com êxito em outros estudos de desmatamento na Amazônia (Barni *et al.* 2015; Fearnside *et al.* 2009; Yanai *et al.* 2012; Graça *et al.* 2014; Santos Junior *et al.* 2015a,b; Ramos *et al.* 2018).

Modelos que atingem valores de validação acima de 50% são considerados aceitáveis, desde que a distribuição espacial do desmatamento nos mapas comparados seja similar, sendo este valor escolhido um limiar de corte para aceitar ou rejeitar o modelo tem sido empregado em estudo de desmatamento na Amazônia (Soares-Filho *et al.* 2006; Ximenes *et al.* 2008; Fearnside *et al.* 2009; Vitel *et al.* 2009; Yanai *et al.* 2012; Graça *et al.* 2014; Barni *et al.* 2015; Santos Junior *et al.* 2015a,b). Além da validação espacial do desmatamento simulado, também foi feita uma comparação em termos de quantidade de mudança (área desmatada) a fim de verificar se as taxas projetadas pelo modelo estão de acordo a taxa observada no período analisado.

Elaboração de cenários e projeções do modelo

Elaboramos três cenários de desmatamento para a área de influência da rodovia BR-319 e estradas planejadas conectadas a ela. Todos os cenários levam em consideração a reconstrução da BR-319 e da AM-364. No cenário “Linha de Base Histórica”, utilizamos a taxa de desmatamento histórica ao longo das estradas da área de estudo, e a premissa deste cenário é a manutenção da atual situação de ocupação observada ao longo da BR-319. No cenário “Estradas Existentes”, consideramos uma mudança na taxa de desmatamento logo após a reconstrução da BR-319 e AM-364 para representar a ocupação que seria desencadeada devido à melhoria da malha viária. Neste cenário a taxa de desmatamento utilizada é de uma região na parte sul do município de Lábrea. Por fim, no cenário “Estradas Planejadas”, levamos em consideração além da reconstrução da BR-319 e da AM-364, a construção das estradas planejadas (Tabela 3) utilizando a mesma taxa de desmatamento cenário “Estradas Existentes”. A inclusão das estradas planejadas no modelo contribuiu para que parte do desmatamento simulado seja alocado ao longo das novas estradas, resultando em novas frentes de desmatamento nessas áreas. O cenário “Estradas Planejadas” tem a premissa de que haverá uma demanda por novas estradas gerada pela reconstrução da BR-319.

Os cenários foram criados em três etapas: na primeira simulamos o cenário “Linha de Base Histórica” de 2011 a 2025; na segunda simulamos o cenário “Linha de Base Histórica” de 2026 a 2100 com a mesma taxa de 2011 a 2025, e simulamos os cenários “Estradas Existentes” e “Estradas Planejadas” de 2026 a 2100 com a taxa do sul de Lábrea calculada a partir dos ramais do Boi e do Jequitibá (Figura 5). Desta forma as taxas e a dinâmica do desmatamento se diferem somente a partir de 2026.

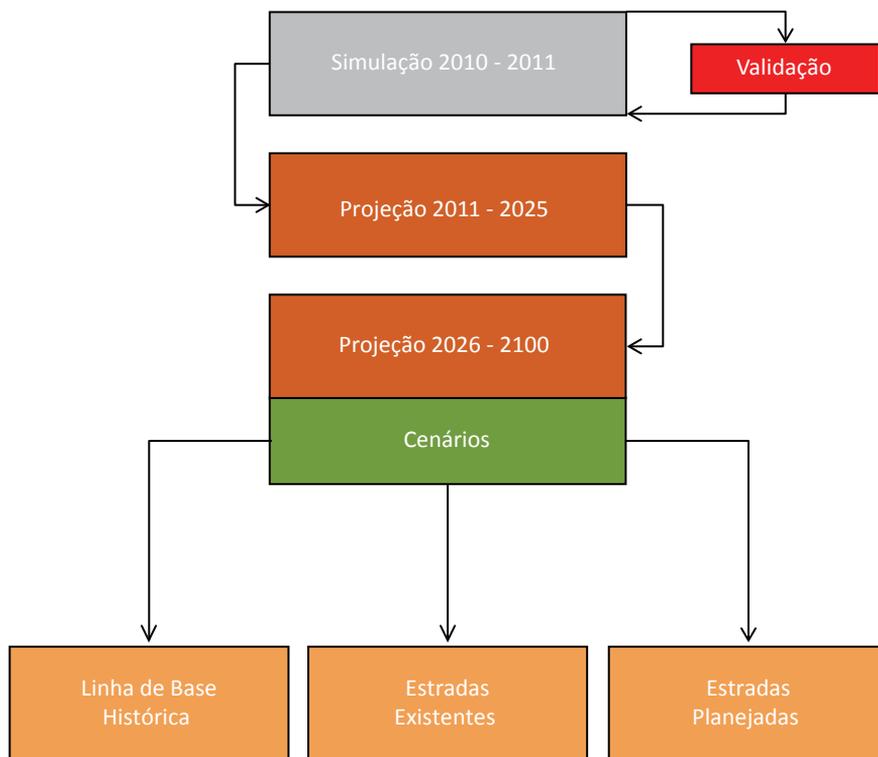


FIGURA 5 – Modelo conceitual dos cenários elaborados.

Mais informações sobre métodos estão disponíveis na seção “Material e Métodos” no material suplementar.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A contabilização dos resultados foi realizada para uma área menor que a área de modelagem, denominada de “área de análise” (Figura 6). Esta área de análise exclui áreas onde houve grande acúmulo de desmatamento ao longo do tempo, principalmente a região ao sul de Lábrea na BR-364. Estas áreas onde houve o efeito de vazamento do desmatamento são as que nas primeiras interações do modelo que possuem maiores probabilidades de serem desmatadas devido ao desmatamento prévio existente, obedecendo a regra de desmatar primeiro em áreas próximas a onde já exista desmatamento. Assim, a área de análise abrangeu uma área de 332.371 km². Esta área representa 66,3% da área de estudo total.

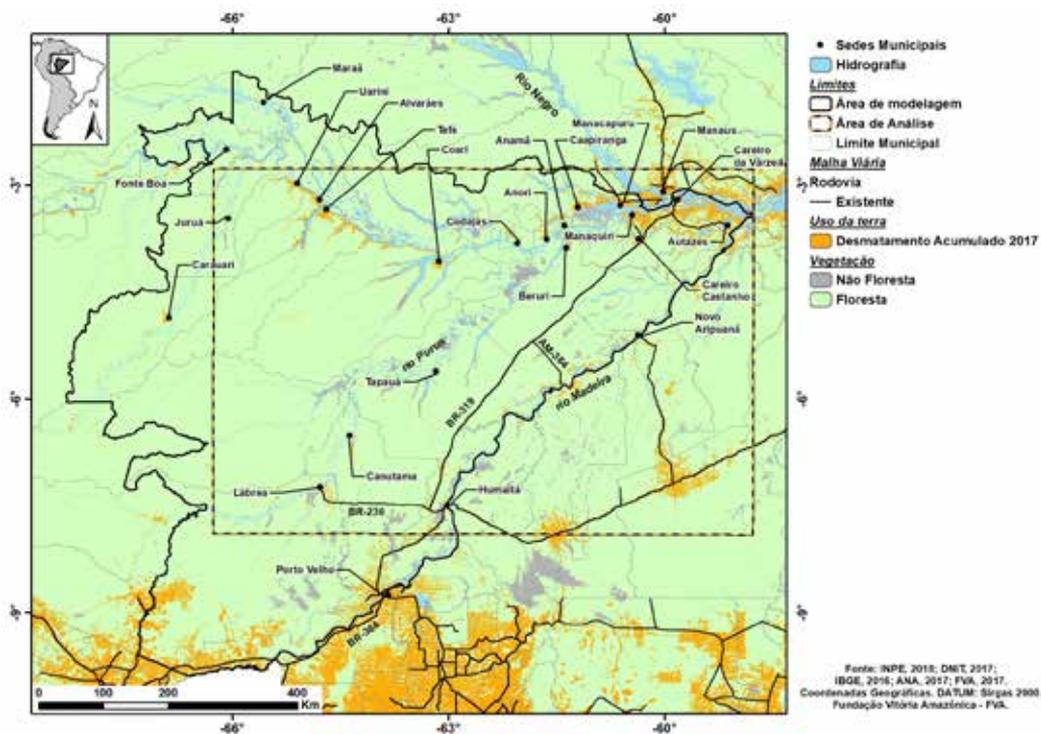


FIGURA 6. Área de modelagem (área de estudo) com 501.185 km² e área de análise dos resultados compreendendo 332.371 km².

Comparamos os resultados dos cenários entre si e com os resultados publicados de outro trabalho de modelagem de uso e cobertura da terra que previu os impactos do desmatamento na Amazônia. Utilizamos os resultados apresentados por Soares-Filho *et al.* (2006) na escala da área de análise dos resultados.

O modelo elaborado por Soares-Filho *et al.* (2006) para a bacia amazônica simulou o desmatamento no período de 2001 a 2050. A resolução espacial utilizada foi de 1 km e foram criados dois cenários: “Business as Usual” de Soares-Filho *et al.* (2006), onde até 2050 40% da cobertura florestal estaria desmatada correspondendo a 50% da Amazônia Legal, e o cenário “Governança” dos mesmos autores, que considera a expansão da rede de áreas protegidas diminuindo o potencial desmatamento futuro em aproximadamente 50% para a bacia amazônica.

O modelo de Soares-Filho *et al.* (2006) não considerou a construção das estradas planejadas que o nosso estudo considera, ficando o desmatamento nesta região concentrado principalmente ao longo das rodovias BR-364 e BR-230 e dos rios Arauá e Urucu, e se expandindo a partir destes. A área desmatada estimada era maior no cenário “Gover-



nança” de Soares-Filho *et al.* (2006) em relação ao nosso cenário “Linha de Base Histórica” e no cenário “*Business as Usual*” de Soares-Filho *et al.* (2006) em relação ao nosso cenário “Estradas Planejadas”. Essas diferenças nas estimativas devem-se ao fato de os modelos apresentarem períodos temporais diferentes de calibração, áreas protegidas existentes na época, tamanho da área de estudo e da célula empregados na modelagem.

Analisamos o efeito da malha viária em concentrar a distribuição espacial do desmatamento por meio de uma análise de proximidade. Calculamos a área desmatada dentro de uma zona de 5,5 km de distância em relação às estradas, considerando a malha viária existente até 2000 para os dados observados em 2000, a malha viária existente até 2010 para os dados observados pelo PRODES em 2010, e a malha viária existente até 2011 para os dados observados pelo PRODES e para o cenário “Linha de Base Histórica”, simulado para 2011. Comparamos estes resultados ao padrão encontrado para a Amazônia brasileira no estudo de Barber *et al.* (2014). Adicionalmente verificamos as alterações nas quantidades totais e contribuições proporcionais do desmatamento dos diferentes cenários para as áreas protegidas e assentamentos, para avaliar quais tipos de área protegida e assentamento serão potencialmente mais impactados pela reconstrução da BR-319 e melhoria e expansão da malha viária planejada.



Resultados e Discussão

O modelo foi validado para a área de estudo total a partir da janela de 7x7 células com um valor de 54% (Figura 7) entre o mapa de uso da terra observado do PRODES para 2011 (Figura 8) e o mapa de uso da terra simulado para 2011 (Figura 9). Considerando somente a área de análise, o mapa simulado para 2011 (cenário linha de base histórica) estimou uma área desmatada 1,2% (117 km²) menor que a observada no mapa de uso da terra do PRODES para o mesmo ano (Tabela 2).

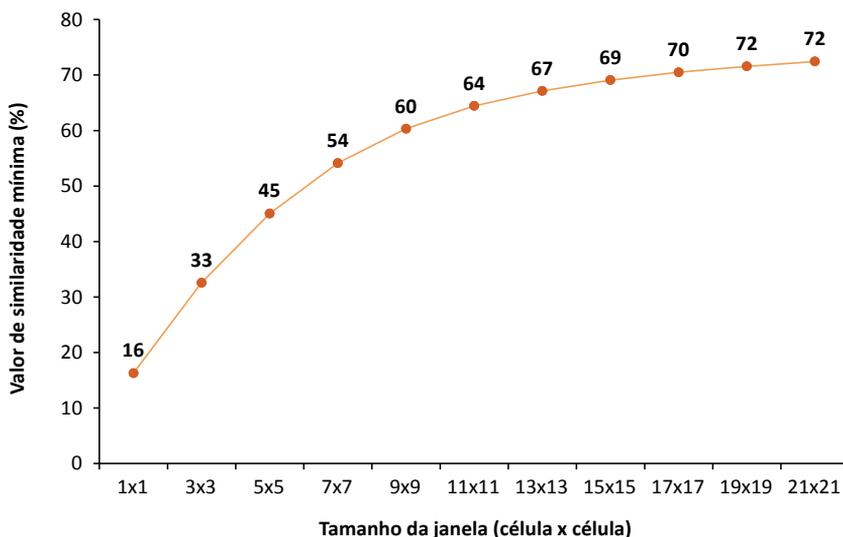


FIGURA 7. Gráfico da similaridade mínima entre os mapas de uso da terra observado pelo PRODES para 2011, e o mapa simulado para o ano de 2011.

Para o cenário “Linha de Base Histórica”, que considera somente a reconstrução da BR-319 e AM-364 e a evolução da dinâmica do desmatamento com as taxas históricas, o resultado para o desmatamento estimado em 2050 foi de 37.637 km² (11,3% da área de análise), representando um aumento de 277,2% no desmatamento. Em 2100 a área desmatada pode alcançar até 70.177 km² (21,1% da área de análise), representando um aumento de 603,3% em relação ao ano inicial projetado (Tabela 2). Neste cenário, o desmatamento está concentrado, em sua maior parte, nas regiões nordeste e sul da área de análise, próximas às capitais de Manaus e Porto-Velho e às sedes municipais.

No cenário “Estradas Existentes”, que considera aumento na taxa de desmatamento após a reconstrução da BR-319 e AM-364, o desmatamento estimado em 2050 foi de 62.669 km² (18,9% da área de análise) representando um aumento de 528,1% no desmatamento. Em 2100 a área desmatada pode alcançar até 117.764 km² (35,4% da área de estudo), representando um aumento de 1380,8% em relação ao ano inicial projetado (Tabela 2).

No cenário “Estradas Planejadas” a área desmatada estimada devido ao impacto da construção das novas estradas em 2050 foi de 76.112 km² (22,9% da área de análise), um aumento de 662,8% em 40 anos caso que as estradas planejadas sejam construídas conforme o cronograma temporal usado. Na simulação até 2050 a sub-região “Estradas e Rios” expande 15 vezes, atendendo à construção das estradas planejadas. Até 2100 o desmatamento potencialmente aumentará em 1.291,0%, alcançando uma área total de 138.778 km² (41,8% da área de análise) (Tabela 2).

Comparando o cenário “Linha de Base Histórica” com o cenário “Estradas Existentes”, é possível avaliar que somente reconstruir a BR-319 e a AM-364 resultará num aumento de 166,5% em 2050 e 167,8% em 2100 no desmatamento da região, cerca de uma vez e meia maior que o estimado pelo cenário “Linha de Base Histórica”. Esta diferença é devida ao aumento na taxa de desmatamento representando uma maior alteração na paisagem natural devido ao acesso facilitado pela trafegabilidade da estrada. Na comparação entre os cenários “Estradas Existentes” e “Estradas Planejadas” é possível inferir que após a reconstrução da BR-319 e da AM-364 o impacto gerado pela construção das estradas planejadas aumentará o desmatamento em 145,8% no ano de 2050 e 125,5% em 2100. Se comparados o cenário “Linha de Base Histórica” e o “Estradas Planejadas” o aumento será de 202,2% em 2050 e 197,8% em 2100 na região, mais que o dobro do impacto observado no cenário “Linha de Base Histórica” ao final da projeção. Estas diferenças são devidas ao incremento gerado pela melhoria e expansão da malha viária no modelo, e também da presunção das diferentes taxas consideradas nesses cenários. As estradas atuam como vetores do desmatamento, uma vez que os locais mais propensos a serem desmatados basicamente atendem aos critérios de estarem próximos à malha viária e possuírem desmatamento prévio.

A influência da construção das estradas planejadas na destinação do desmatamento no modelo pode ser observada comparando visualmente os mapas de 2050 e 2100 dos três cenários respectivamente, onde é possível notar uma diferença entre as áreas desmatadas (Figuras 10 a 15). No cenário “Linha de Base Histórica”, na parte sul da área de análise, próxima a Porto-Velho, há mais desmatamento em relação ao cenário “Estradas Planejadas”, comparativamente nas regiões onde houve a construção das estradas planejadas o padrão observado é o oposto: há mais desmatamento no cenário “Estradas Planejadas” em relação ao cenário “Linha de Base Histórica”.

No modelo, a entrada de informação das estradas planejadas representa a criação de novas estradas em locais de floresta remota, estes locais sendo, em sua maior parte, desprotegidos legalmente. Isto altera localmente as probabilidades espaciais aumentando a possibilidade de converter a floresta em desmatamento. Por esta razão, de 2026 a 2100 no cenário “Linha de Base Histórica”, o desmatamento foi acumulado em maior quantidade na região sul próxima de Porto-Velho, e na parte leste, próxima a Manaus. No cenário “Estradas Planejadas” o desmatamento foi concentrado nessa área e também houve um aumento no desmatamento nos locais onde foram construídas as novas estradas.

TABELA 2. Desmatamentos observado (real) e simulado (AGROECO) para os diferentes cenários modelados e comparação com estudos anteriores.

Escala	Mapa de uso da terra*	Ano	Área desmatada	
			km ²	%
Observado		2000	7.599	2,25
		2010	9.074	3,25
		2011	9.978	3,00
Linha de Base Histórica		2011	9.861	2,97
		2050	37.637	11,32
Área de análise	Estradas Existentes	2100	70.177	21,11
		2050	62.669	18,86
Estradas Planejadas		2100	117.764	35,43
		2050	76.112	22,90
"Governança" (de Soares-Filho et al. 2006)		2011	11.543	3,47
		2050	74.579	22,44
"Business as Usual" (de Soares-Filho et al. 2006)		2011	11.765	3,54
		2050	146.617	44,11

*Observado = PRODES (INPE 2018), "Business as Usual" e "Governança" (Soares-Filho et al. 2006)

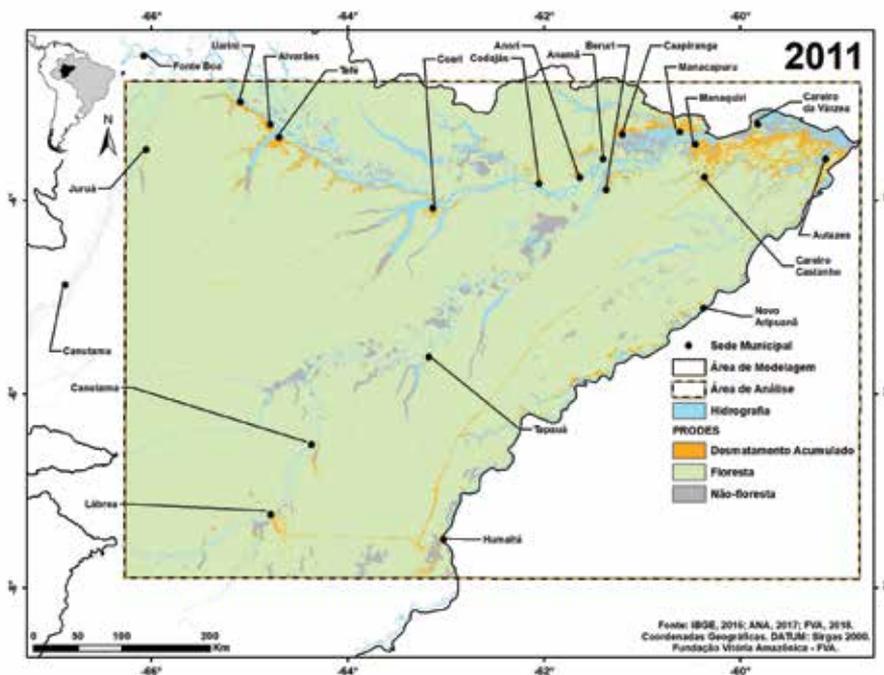


FIGURA 8. Mapa de uso da terra observado em 2011, dados projeto PRODES.

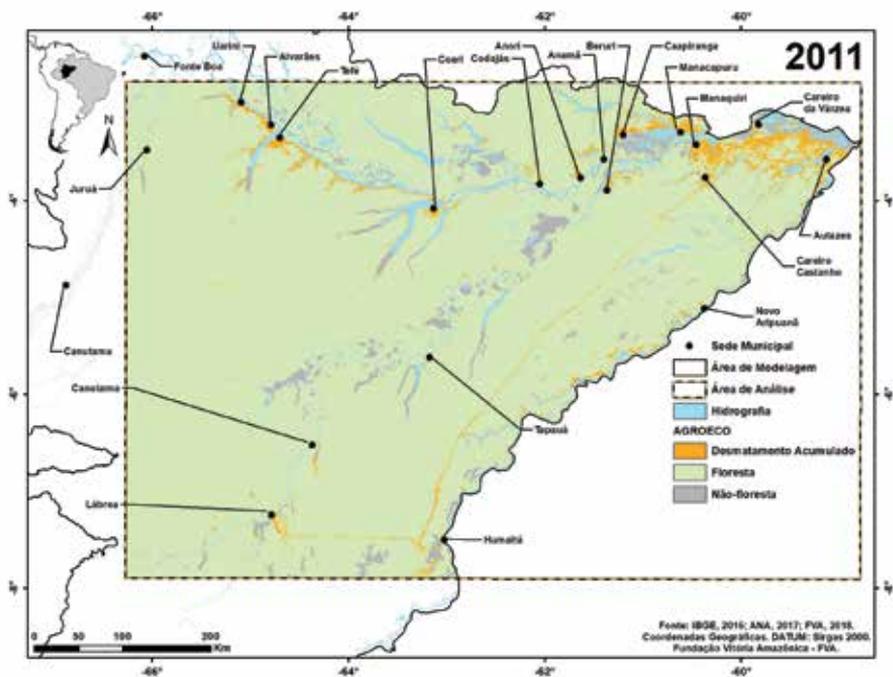


FIGURA 9. Mapa simulado para 2011 do cenário “Linha de Base Histórica”.

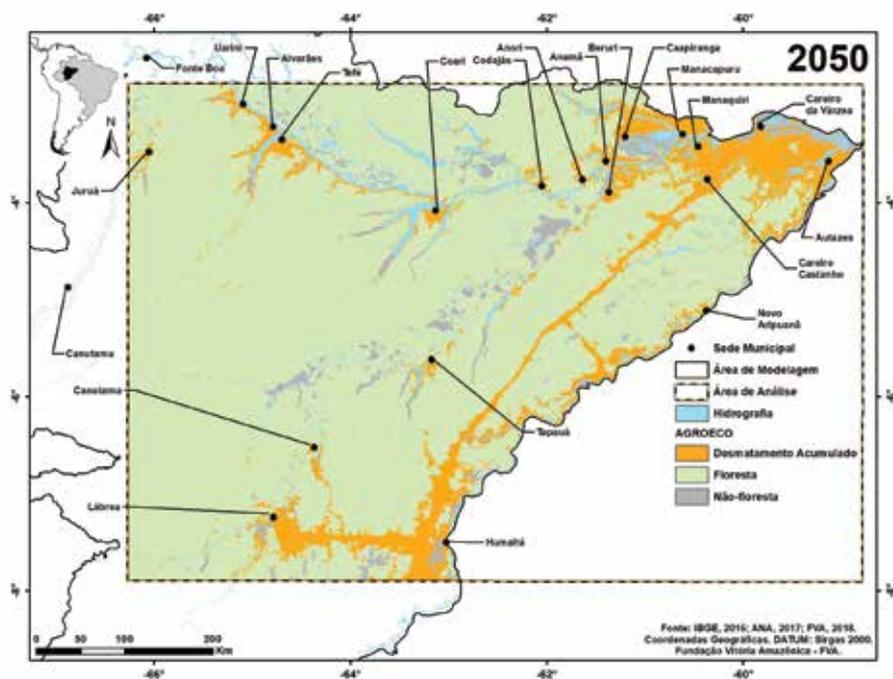


FIGURA 10. Mapa simulado para 2050 do cenário “Estradas Existentes”.

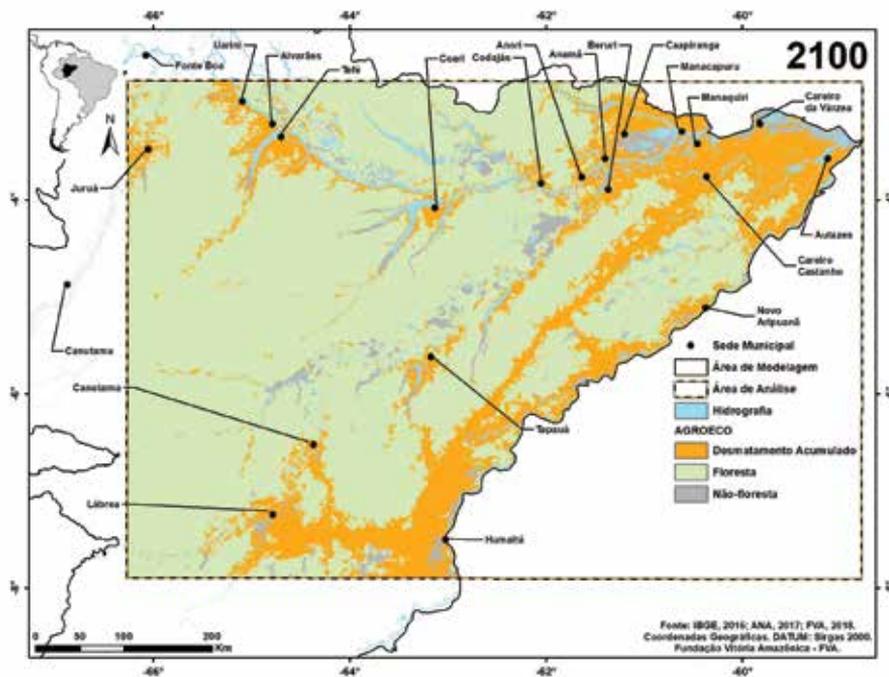


FIGURA 11. Mapa simulado para 2100 do cenário "Linha de Base Histórica".

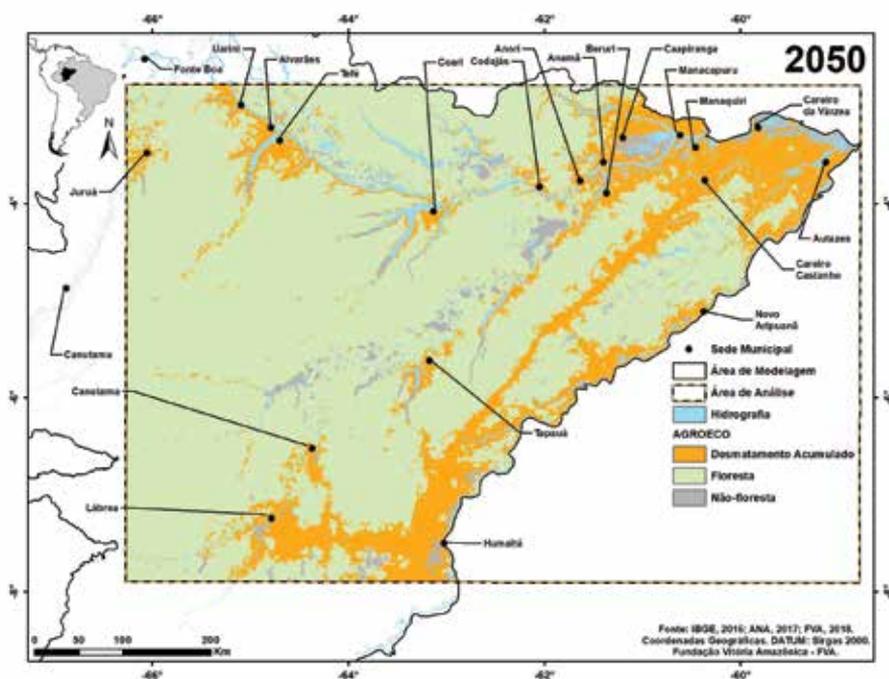


FIGURA 12. Mapa simulado para 2050 do cenário "Estradas Existentes".

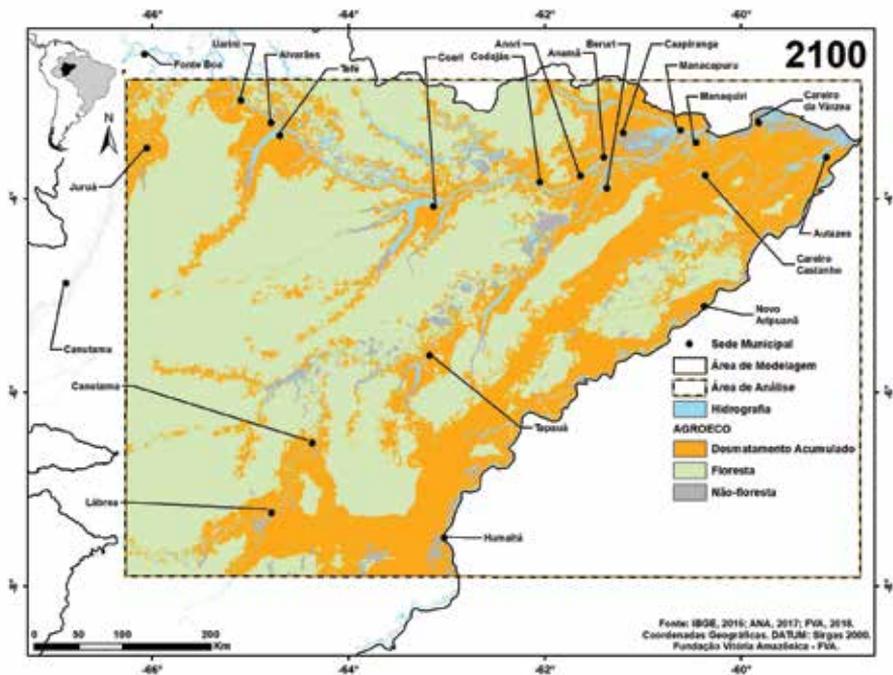


FIGURA 13. Mapa simulado para 2100 do cenário "Estradas Existentes".

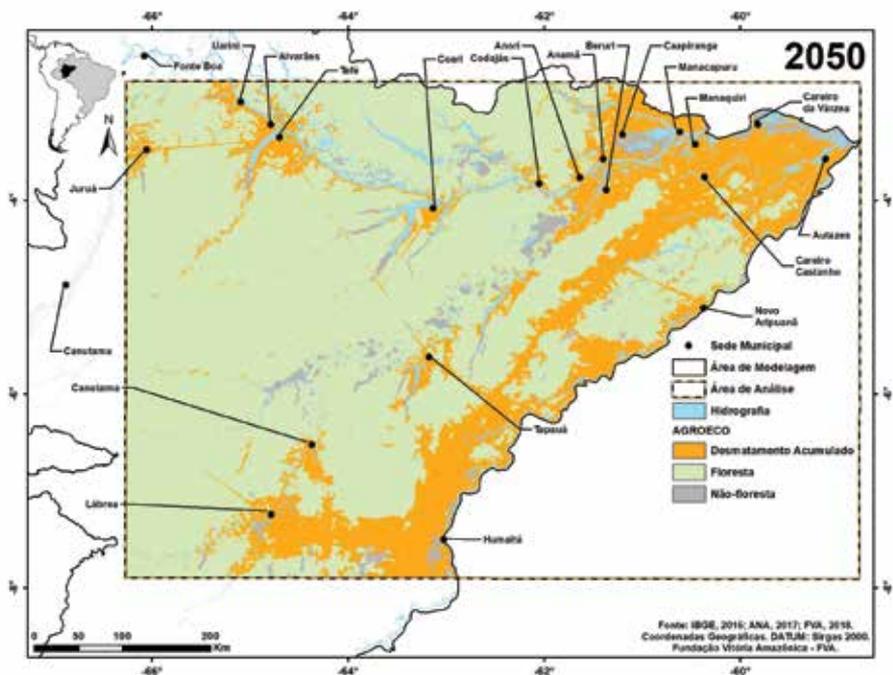


FIGURA 14. Mapa simulado para 2050 do cenário "Estradas Planejadas".

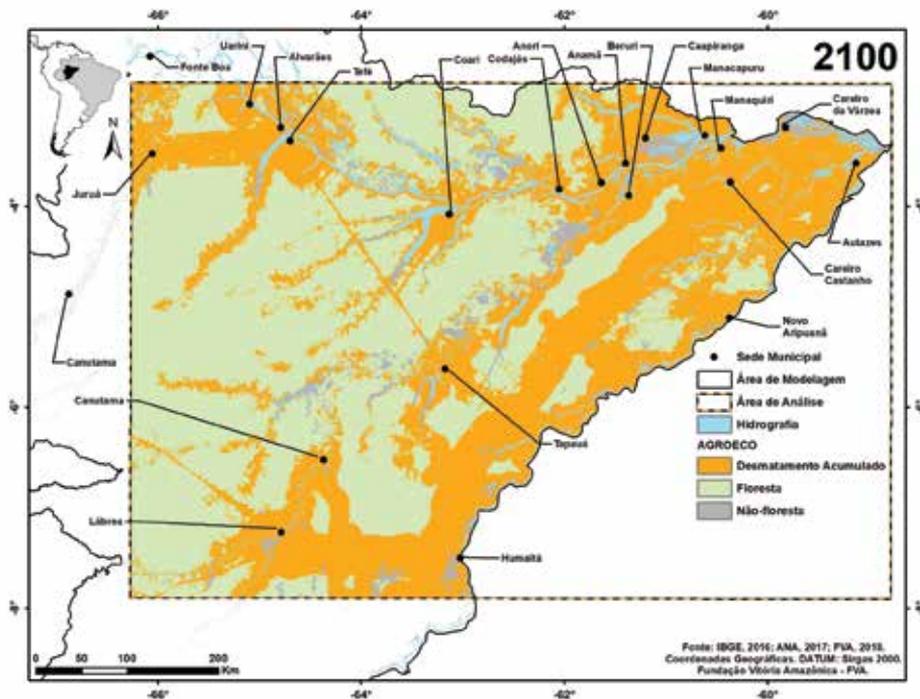


FIGURA 15. Mapa simulado para 2100 do cenário “Estradas Planejadas”.

Comparando os resultados deste estudo com os do trabalho de Soares-Filho *et al.* (2006), recortados para a área de análise dos resultados (material suplementar: Anexo), encontramos que para 2011 no cenário Governança o desmatamento estimado foi 17,1% maior do que o resultado encontrado para o cenário “Linha de Base Histórica”, e em 2050 esta diferença chega 98,2%. Na comparação entre o cenário “Business as Usual” de Soares Filho *et al.* (2006) e nosso cenário Estradas Existentes esta diferença é de 19,3% para 2011 e 189,6% para 2050 (Tabela 2). Esta diferença entre os resultados deste trabalho e o de Soares-Filho *et al.* (2006) deve-se ao fato das diferentes abordagens e premissas utilizadas na modelagem, incluindo a diferença entre as taxas de transição, as estradas não oficiais mapeadas e o tamanho da célula.

Na análise do efeito das estradas como vetores de desmatamento, encontramos que a maior parte do desmatamento em 2011, de 58,5% a 61,2%, está distribuída dentro da faixa de distância de 5,5 km em relação à malha viária, tanto para os dados observados do PRODES (para 2000, 2010 e 2011), quanto para o cenário de desmatamento projetado “Linha de Base Histórica” em 2011 (Tabela 3). O valor encontrado foi menor do que o observado para a Amazônia brasileira, 94,9% (Barber *et al.* 2014). Esta diferença é devido ao fato de que Barber *et al.* (2014) consideram toda a Amazônia brasileira em sua análise.

lise, incluindo o “arco do desmatamento” que concentra um maior número de estradas e concentra também as maiores quantidades de desmatamento. Mesmo que o resultado encontrado no presente trabalho não tenha obtido o valor do padrão descrito para a Amazônia brasileira, percebemos que o padrão geral regional observado foi replicado e mantido ao longo das projeções do modelo.

TABELA 3. Desmatamentos observado (real) e simulado (AGROECO) para a faixa de distância de 5,5 km a partir da malha viária e contribuição proporcional desta faixa ao desmatamento total na área de estudo.

Mapa de uso da terra	Ano	Desmatamento	
		Área (km ²)	Contribuição proporcional (%)
Observado	2000	4.566	60,1
	2010	5.421	59,7
	2011	5.840	58,5
“Linha de Base Histórica”	2011	6.039	61,2

Na análise do avanço do desmatamento sobre as áreas protegidas e assentamentos, os padrões entre os dados observados e simulados são semelhantes ao encontrado para a área de análise, com o aumento do desmatamento sendo menor no cenário Linha de Base Histórica, intermediário no cenário Estradas Existentes e maior no cenário Estradas Planejadas (Tabela 4). Respectivamente, as áreas focais com maior potencial de mudança futura na cobertura da terra são, em ordem decrescente: as áreas protegidas de Proteção Integral, de Uso Sustentável e as Terras Indígenas, seguidas dos Assentamentos. O impacto potencial estimado do aumento de desmatamento foi maior nas Unidades de Conservação de Proteção Integral, pois estas estão localizadas às margens da BR-319, BR-320 e AM-364, sofrendo impacto direto do efeito das estradas como vetores de desmatamento, já o impacto potencial sobre as Unidades de Conservação de Uso Sustentável estão situadas às margens das mesmas rodovias e também de grandes rios, como o Solimões, Madeira, Purus, Tefé e Juruá, bem como rios menores, tais como o Mucuí, Ipixuna e Luna. O efeito potencial de aumento do desmatamento sobre as Terras Indígenas é devido, em maior parte, por estarem próximas a rios como o Juruá, Luna e Purus, principalmente. Nos assentamentos, o efeito potencial do aumento do desmatamento é explicado, em parte, por estes estarem localizados próximo à BR-319 e aos rios Madeira, Purus, Solimões e Ipixuna. Embora, tanto nos pesos de evidência quanto no mapa de fricção, áreas protegidas sejam menos propensas ao avanço do desmatamento, estas foram as mais impactadas entre as categorias de proteção e uso utilizadas. Isto pode ser explicado, também, pela localização das áreas protegidas e assentamentos em relação à malha-viária e à hidrografia, mas também pela presença de desmatamento prévio. Isto se deve ao fato que nos coeficientes de pesos de evidência, as menores distâncias ao uso da terra, estradas primárias e secundárias e hidrografia são localidades com a maior propensão a serem desmatadas.

TABELA 4. Desmatamentos observado (real) e simulado (AGROECO) para as áreas protegidas e assentamentos.

Área Focal	Observado / Cenário	Ano	Área (km ²)	% Área Focal	Diferença em relação ao PRODES 2011 (%)	
Unidades de Conservação de Proteção Integral	PRODES	2011	38	0,22	-	
		2011	38	0,22	0,3	
	Linha de Base Histórica	2050	652	3,77	1.612,0	
		2100	2.271	13,14	5.861,8	
	Estradas Existentes	2050	1.862	10,77	4.789,2	
		2100	5.854	33,87	15.269,8	
	Estradas Planejadas	2050	4.542	26,28	11.824,5	
		2100	9.786	56,62	25.593,6	
	Unidades de Conservação de Uso Sustentável	PRODES	2011	987	1,50	-
			2011	940	1,42	-4,8
Linha de Base Histórica		2050	3.707	5,62	275,6	
		2100	10.489	15,89	962,9	
Estradas Existentes		2050	8.675	13,14	779,0	
		2100	23.576	35,73	2.289,1	
Estradas Planejadas		2050	17.184	26,04	1.641,3	
		2100	31.177	47,24	3.059,4	
Terras Indígenas		PRODES	2011	460	1,55	-
			2011	434	1,46	-5,5
	Linha de Base Histórica	2050	1.149	3,87	150,1	
		2100	2.880	9,70	526,8	
	Estradas Existentes	2050	2.356	7,93	412,6	
		2100	6.981	23,51	1.419,1	
	Estradas Planejadas	2050	4.310	14,52	837,9	
		2100	10.689	36,00	2.225,9	
	Assentamentos	PRODES	2011	1.213	4,96	-
			2011	1.225	5,01	1,0
Linha de Base Histórica		2050	7.330	29,97	504,3	
		2100	14.262	58,31	1.075,9	
Estradas Existentes		2050	12.838	52,49	958,5	
		2100	18.181	74,34	1.399,0	
Estradas Planejadas		2050	18.093	73,98	1.391,7	
		2100	18.839	77,03	1.453,3	

A simulação do impacto da BR-319 apresentada aqui é conservadora em vários aspectos. Por ser limitada a uma área de estudo ao sul dos rios Amazonas e Solimões, não incluindo o impacto substancial esperado gerado pela migração de atores e de processos a partir do arco do desmatamento até as áreas acessíveis por meio das estradas já existentes a partir de Manaus. Isto inclui o impacto de migração para Roraima (Barni *et al.* 2015), para o Distrito Agropecuária da Zona Franca de Manaus (Fearnside 2010) e para o triângulo de terras entre os rios Negro e Solimões que está conectado a Manaus pela ponte Jornalista Phelippe Daou localizada sobre o Rio Negro e que foi inaugurada em 2011 (Pinheiro 2011; Ramos 2015; Ramos *et al.* 2018).

Outro aspecto conservador da simulação é o método adotado no software Dinamica EGO de iniciar desmatamentos, onde novas frentes de desmatamento são iniciadas pelo software jogando pequenas “sementes” de desmatamento por meio do módulo “*patcher*”, e estas pequenas manchas de desmatamento subsequentemente crescem em função da sua atratividade à atividade futura de desmatamento, que é principalmente governada pela área de desmatamento já existente. Sendo que as sementes iniciais são em pequeno número, a sua atratividade é baixa e o crescimento é limitado. No sistema real, no entanto, existem processos sociais que implicam em surtos de desmatamento bem maiores, mais rápidos, e mais espalhados espacialmente. A entrada de “sem terras” organizados (designação para várias organizações existentes de trabalhadores rurais sem terra) pode ocorrer em massa, com centenas de pessoas chegando simultaneamente para ocupar áreas escolhidas pelos líderes dos grupos. A vasta área ao oeste do rio Purus que seria aberta pela estrada planejada AM-366 se trata de terras devolutas públicas, sem nenhum tipo de proteção. Este é o tipo de área mais atraente para ocupação por sem terras organizados (Fearnside 2001). A área em questão também é visada por grandes plantado-



res de dendê da Malásia (Amazonas em Tempo 2008). Empresas deste tipo representam outro tipo de ator não representado no nosso modelo, e que pode levar a desmatamentos maiores, mais rápidos e mais espalhados do que a simulação indica.

Durante o período de 2000 a 2010, usado para calibrar nosso modelo em uma área na fronteira entre Rondônia e Amazonas, a taxa média anual de desmatamento na Amazônia brasileira como um todo foi de 16.531 km². Isso é bem maior que a taxa mais recente de desmatamento registrada (6.947 km² em 2017). No entanto, as taxas de desmatamento têm apresentado tendência ascendente na Amazônia brasileira como um todo desde 2012, tendo aumentado em 52% até 2017 em comparação com o ponto baixo de 4.571 km² em 2012 (INPE 2018). O momento político no Brasil, embora incerto, fornece fortes indícios de um acentuado afrouxamento dos controles ambientais no País nos próximos anos (Fearnside, 2018c). Isso poderia levar a um maior desmatamento do que este simulado em nosso estudo.

Acreditamos que nossas simulações podem ser conservadoras demais nas suas presunções sobre os ritmos de abertura de estradas como a AM-366, que abre o grande bloco de floresta intacta ao oeste do rio Purus. Por ser aberta poucos anos antes de 2050 em nosso cronograma, é modesta a área desmatada até aquele ano ao oeste do rio Purus. No entanto, esta abertura pode acontecer de forma bem mais rápida. Por serem estradas estaduais que não cruzem fronteiras com outras unidades federativas, estas estradas seriam licenciadas pelo órgão ambiental estadual (IPAAM), e não pelo IBAMA. Os eventos em Humaitá em outubro de 2017 demonstram que o órgão estadual não tem nenhuma independência para proteger o ambiente quando isto contraria os desejos do governador. No caso do Humaitá, garimpeiros com dragas no rio Madeira queimaram os escritórios dos órgãos ambientais em Humaitá e, ao invés de ser punidos pelo crime, o governador levou o chefe de IPAAM para Humaitá e premiou os garimpeiros com a licença que eles queriam (Farias 2017a,b). As implicações deste precedente são graves, incluindo a provável aprovação “a toque de caixa” das estradas estaduais que abririam o oeste do Estado do Amazonas aos desmatadores vindo da BR-319.

Apesar das limitações do nosso modelo, tanto em termos de incertezas quanto de fatores importantes não incluídos, ele fornece resultados indicando grandes impactos das estradas planejadas a partir da BR-319. Nas palavras famosas do estatístico britânico George Box, “todos os modelos são errados, mas alguns são úteis” (Box 1976). Acreditamos que nosso modelo seja útil, e que as suas implicações sejam de longo alcance. Ações rápidas e de grande escala são necessárias para evitar os piores impactos retratados na simulação. Medidas óbvias incluem a criação de áreas protegidas ao oeste do rio Purus e o fortalecimento do sistema de licenciamento para obras, incluindo obras estaduais como a estrada AM-366. Também são necessárias mudanças mais profundas para solucionar os problemas sociais que geram as pressões esperadas com a abertura de acesso a vastas áreas de floresta, como ocorreria com as estradas planejadas modeladas na nossa simulação.



Conclusão

Os três cenários projetados no presente estudo permitiram estimar quantitativamente e espacialmente o possível impacto do desmatamento decorrente da construção de estradas planejadas na região do interflúvio Madeira-Purus. A presença de rodovias e estradas secundárias conectadas a elas são importantes variáveis que influenciam as possíveis trajetórias do desmatamento no espaço e no tempo. Apesar das limitações do modelo, consideramos que o modelo AGROECO neste estudo representou bem a dinâmica espacial nas mudanças da cobertura da terra a partir dos dados observados para a região. A simulação do impacto da reconstrução da BR-319 e AM-364 e a construção das estradas laterais planejadas nos permitiu inferir o potencial impacto da melhoria da malha viária na região considerando: a situação atual projetada com as taxas históricas, e a alteração promovida devido a construção das estradas planejadas que foi projetada com a taxa de áreas de ocupação humana intensa.

A expansão da malha viária e as consequências desse acesso facilitado criado sobre áreas de floresta nativa podem levar a desastrosos impactos ambientais. A reconstrução da rodovia federal BR-319 potencialmente causará um aumento no desmatamento da região de seu entorno para locais mais distantes da rodovia. Caso as estradas planejadas, como a rodovia estadual AM-366, sejam construídas, acarretarão em um desmatamento crescente em regiões de floresta ainda intactas e, até o momento, inacessíveis, ultrapassando o bloqueio das Unidades de Conservação criadas ao longo da BR-319.

Impactos da construção de rodovias na Amazônia podem ir muito mais além da área sob influência direta. Políticas públicas de ordenamento territorial, infraestrutura de fiscalização recursos humanos para gestão de UCs são imprescindíveis para mitigar e reduzir os impactos ambientais sobre a área estudada. Além disso, para as áreas de floresta desprotegidas que serão impactadas, caso as estradas planejadas sejam construídas, são necessários estudos sobre a biodiversidade e que subsidiem a criação de áreas legalmente protegidas.

MATERIAL SUPLEMENTAR

Informações adicionais estão na versão digital dessa publicação, disponível no site do Idesam (<https://idesam.org/analise-br319-desmatamento>).

BIBLIOGRAFIA

1. Agterberg, F. P. & Cheng, Q. 2002. Conditional independence test for weights-of-evidence modeling. *Natural Resources Research* 11(4): 240-255. <https://doi.org/10.1023/A:1021193827501>
2. Amazonas em Tempo. 2008. Malaios querem terras do Amazonas. *Amazonas em Tempo*, 22 de agosto de 2008, p. A-1.
3. Aragão, L. E. O. C.; Poulter, B.; Barlow, J. B.; Anderson, L. O.; Malhi, Y.; Saatchi, S.; Gloor, E. 2014. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. *Biological Reviews* 89(4): 913-931. <http://doi.org/10.1111/brv.12088>
4. Arraut, J. M.; Nobre, C. A.; Barbosa, H. M.; Obregon, G.; Marengo, J. A. 2012. Aerial rivers and lakes: Looking at large-scale moisture transport and its relation to Amazonia and to subtropical rainfall in South America. *Journal of Climate* 25: 543-556. <https://doi.org/10.1175/2011JCLI4189.1>
5. Assayag, Y. 2016. MPF/AM cobra de órgãos ambientais e da polícia providências sobre denúncia de invasão na BR-319. *Amazonas em Tempo*, 28 de outubro de 2016. <http://www.emtempo.com.br/mpfam-cobra-de-orgaos-ambientais-e-da-policia-providencias-sobre-denuncia-de-invasao-na-br-319/>.
6. Baidya, R. S.; Avissar, R. 2002. Impact of land use/land cover change on regional hydrometeorology In Amazonia. *Journal of Geophysical Research* 107 (D20): art. 8037. <https://doi.org/10.1029/2000JD000266>
7. Barber, C. P.; Cochrane, M. A.; Souza, C. M.; Laurance, W. F. 2014. Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. *Biological Conservation* 177: 203–209. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.07.004>
8. Barni, P. E.; Fearnside, P. M.; Graça, P. M. L. A. 2015. Simulating deforestation and carbon loss in Amazonia: Impacts in Brazil's Roraima state from reconstructing Highway BR-319 (Manaus-Porto Velho). *Environmental Management* 55(2): 259-278. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0408-6>
9. Bobrowiec, P. E. D. 2007. Morcegos (Mammalia: Chiroptera). In: L. R. Py-Daniel, C. P. Deus, A. L. Henriques, D. M. Pimpão & O. M. Ribeiro (Eds.). *Biodiversidade do Médio Madeira: Bases*

Científicas para Propostas de Conservação. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).

10. Bonham-Carter, G. F.; Agterberg, F. P.; Wright, D. F. 1989. Weights of evidence modeling: A new approach to mapping mineral potential. In: F. P. Agterberg & G. F. Bonham Carter (Eds.), *Statistical Applications in Earth Sciences*. Ottawa, Canadá: Geological Survey of Canada, p. 171-183.
11. Bonham-Carter, G. F. 1994, *Geographic Information Systems for Geoscientists*. Oxford, Reino Unido: Pergamon. 398 p.
12. Box, G. E. P. 1976. Science and statistics. *Journal of the American Statistical Association* 71: 791-799. <https://doi.org/10.1080/01621459.1976.10480949>
13. Brandon, K.; Fonseca, G. A. B. da.; Rylands, A. B.; Silva, J. M. C. da. 2005. Brazilian conservation: challenges and opportunities. *Conservation Biology* 19(3): 595-600. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00710.x>
14. Cohn-Haft, M.; Pacheco, A. M. F.; Bechtoldt, C.; Torres, M. F. N.; Fernandes, A. M.; Sardelli, C.H.; Macedo, I. T. 2007. Inventário ornitológico. In: L. R. Py-Daniel, C. P. Deus, A. L. Henriques, D. M. Pimpão & O. M. Ribeiro (Eds.). *Biodiversidade do Médio Madeira: Bases Científicas para Propostas de Conservação*. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).
15. Cohn-Haft, M.; Santos Junior, M. A.; Fernandes, A. M.; Ribas, C. C. 2013. A new species of *Cayanocorax* jay from savannas of the central Amazon. In: J. del Hoyo, A. Elliott, J. Sargatal & D. A. Christie (Eds.), *Handbook of the Brlds of the World*. Barcelona, Espanha: Lynx Ediciones. Vol. 17, p. 48–52.
16. Cohn-Haft, M.; Bravo, G. A. 2013. A new species of *Herpsilochmus antwren* from west of the Madeira river In Amazonian Brazil. In: J. del Hoyo, A. Elliott, J. Sargatal, & D. A. Christie (Eds.), *Handbook of the Birds of the World*. Barcelona, Espanha: Lynx Ediciones. Vol. 17, p. 16–20.
17. DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes). 2017. Shapefiles. Acesso em 02 de setembro de 2017. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/mapas-multimodais/shapefiles>>.
18. DOU (Diário Oficial da União). 2006. *Diário Oficial da União* Número 2, 03 de janeiro de 2006.
19. Farias, E. 2017a. Amazonino quer legalizar garimpo que foi estopim do ataque em Humaitá. *Amazônia Real*, 17 de novembro de 2017. <http://amazoniareal.com.br/amazonino-quer-legalizar-garimpo-que-foi-estopim-de-ataques-em-humaita/>
20. Farias, E. 2017b. Amazonino licenciou garimpo no rio Madeira sem estudo sobre resíduos de mercúrio. *Amazônia Real*, 13 de dezembro de 2017. <http://amazoniareal.com.br/amazonino-licenciou-garimpo-no-rio-madeira-sem-estudo-sobre-residuos-de-mercurio/>
21. Fearnside, P. M. 1989. *A Ocupação Humana de Rondônia: impactos, limites e Planejamento*. Brasília, DF: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Assessoria Editorial e Divulgação Científica. 76 p. Disponível em: http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/1989/A%20Ocupacao%20Humana%20de%20Rondonia.pdf
22. Fearnside, P. M. 2001. Land-tenure issues as factors in environmental destruction in Brazilian Amazonia: The case of southern Pará. *World Development* 29(8): 1361-1372. [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(01\)00039-0](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(01)00039-0)
23. Fearnside, P. M. 2002. Avança Brasil: Environmental and Social Consequences of Brazil's Planned Infrastructure in Amazônia. *Environmental Management*, 6: 735-747. <https://doi.org/10.1007/s00267-002-2788-2>

24. Fearnside, P. M. 2005. Deforestation In Brazilian Amazonia: History, rates, and consequences. *Conservation Biology* 19(3): 680–688. <http://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x>
25. Fearnside, P. M. 2006. Dams in the Amazon: Belo Monte and Brazil's hydroelectric development of the Xingu river basin. *Environmental Management* 38: 16-27. <https://doi.org/10.1007/s00267-005-0113-6>
26. Fearnside, P. M. 2010. Impacto do desmatamento Amazônico sobre o ambiente urbano em Manaus. pp. 73-82. In: S.R. Nozawa & A.L.W. dos Santos (eds.) *Impactos Urbanos sobre a Biologia do Ambiente Amazônico: Interações entre Moléculas, Organismos e Ambientes*. Curitiba, Paraná: Editora CRV. 174 p.
27. Fearnside, P. M. 2014. *Análisis de los Principales Proyectos Hidro-Energéticos en la Región Amazónica*. Lima, Peru: Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (DAR), Centro Latinoamericano de Ecología Social (CLAES) & Panel Internacional de Ambiente y Energía en la Amazonia, 55 p. http://www.dar.org.pe/archivos/publicacion/147_Proyecto_hidro-energeticos.pdf
28. Fearnside, P. M. 2015. Rios voadores e a água de São Paulo [Amazônia Real Série completa] <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2430.1601>
29. Fearnside, P. M. 2017. Deforestation of the Brazilian Amazon. In: Shugart, H. (Ed.) *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. Oxford University Press, New York, E.U.A. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.102>.
30. Fearnside, P. M. 2018a. BR-319 e a destruição da floresta amazônica. *Amazônia Real* 19 de outubro de 2018. <http://amazoniareal.com.br/br-319-e-destruicao-da-floresta-amazonica>
31. Fearnside, P. M. 2018b. Challenges for sustainable development in Brazilian Amazonia. *Sustainable Development* 26(2): 141-149. <https://doi.org/10.1002/sd.1725>
32. Fearnside, P. M. 2018c. Why Brazil's New President Poses an Unprecedented Threat to the Amazon. *Yale Environment* 360, 8 November 2018. <https://e360.yale.edu/features/why-brazils-new-president-poses-an-unprecedented-threat-to-the-amazon>
33. Fearnside, P. M.; Laurance W. F. 2002. O futuro da Amazônia: os impactos do programa avança Brasil. *Ciência Hoje* 182: 61-65. http://cienciahoje.uol.com.br/revista-ch/revista-ch-2004/203/pdf_fechado/opiniaio.pdf
34. Fearnside, P. M.; Graça, P. M. L. A. 2006a. BR-319: Brazil's Manaus-Porto Velho Highway and the potential impact of linking the arc of deforestation to central Amazonia. *Environmental Management* 38(5): 705-716. <https://doi.org/10.1007/s00267-005-0295-y>.
35. Fearnside, P.M. & Graça, P.M.L.A. 2006b. O corte profundo na floresta: Reconstrução de estrada na Amazônia conectará trechos de floresta intocada a áreas de desmatamento. *Scientific American Brasil* 5(54): 10-11.
36. Fearnside, P. M.; Graça, P. M. L. A.; Keizer, E. W. H.; Maldonado, F. D.; Barbosa, R. I.; Nogueira, E. M. 2009. Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito estufa na região sob influência da Rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). *Revista Brasileira de Meteorologia* 24(2): 208-233. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000200009>
37. Fearnside, P. M.; Figueiredo, A. M. R. 2016. China's influence on deforestation In Brazilian Amazonia: A growing force in the state of Mato Grosso. In: R. Ray, K. Gallagher, A. López & C. Sanborn (Eds.). *China and Sustainable Development in Latin America: The Social and Environmental Dimension*. New York, E.U.A.: Anthem Press, p. 229-265.

38. Ferreira, L. V.; Venticinque, E.; Almeida, S. 2005. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. *Estudos Avançados* 19(53): 157-166. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000100010>
39. Fleck, L. 2009. Eficiência econômica, riscos e custos ambientais da reconstrução da BR 319. Série Técnica, n. 17. Lagoa Santa, MG: Conservation Strategy Fund (CSF). <https://www.conservation-strategy.org/pt/publication/eficiencia-economica-riscos-e-custos-ambientais-da-reconstrucao-da-rodovia-br-319#.W1NKXvZfXMs>
40. Figueiredo, F. O. G.; Costa, F. R. C.; Zuquim, G.; Emilio, T.; Pimentel, T. P. 2008. Padrões de variação florística de Zingiberales em florestas de terra firme da Amazônia Central e Setentrional: implicações para a conservação e a pesquisa na Amazônia. In: Anais da Conferência Científica Internacional Amazônia em Perspectiva: Ciência Integrada para um Futuro Sustentável, Manaus.
41. Fraga, R. de. 2016. *Diversidade Regional de Serpentes na Amazônia: Uma abordagem Multidimensional com Implicações para Conservação de Paisagens Naturais*. Tese de doutorado em ecologia. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 123 p. bdtd.inpa.gov.br/handle/tede/2241
42. Garcia-Carreras, L.; Parker, D. J. 2011. How does local tropical deforestation affect rainfall? *Geophysical Research Letters* 38(19): 1–6. <https://doi.org/10.1029/2011GL049099>.
43. Graça, P. M. L. A.; Santos Junior, M. A.; Rocha, V. M.; Fearnside, P. M.; Emilio, T.; Menger, J. S.; Marciente, R.; Bobrowiec, P. E. D.; Venticinque, E. M.; Antunes, A. P.; Bastos, A. N., Rohe, F. 2014. Cenários de desmatamento para região de influência da rodovia BR-319: perda potencial de habitats, status de proteção e ameaça para a biodiversidade. In: T. Emilio & F. Luizão (Eds.). *Cenários para a Amazônia: Clima, Biodiversidade e Uso da Terra*. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), p. 91-101.
44. Hagen, A. 2003. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. *International Journal of Geographical Information Science* 17(3): 235-249. <https://doi.org/10.1080/13658810210157822>
45. Henriques, A. L.; Rafael, J. A.; Ale-Rocha, R.; Xavier-Filho, F. F.; Baccaro, F. B.; Godoi, F. S. P. 2007. Insetos e outros artrópodes terrestres. In: L. R. Py-Daniel, C. P. Deus, A. L. Henriques, D. M. Pimpão & O. M. Ribeiro (Eds.). *Biodiversidade do Médio Madeira: Bases Científicas para Propostas de Conservação*. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).
46. INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2018. Projeto PRODES: monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. <http://www.obt.inpe.br/prodes>.
47. Laurance, W. F.; Cochrane, M. A.; Bergen, S.; Fearnside, P. M.; Delamônica, P.; Barber, C.; D'Angelo, S.; Fernandes, T. 2001. The Future of the Brazilian Amazon. *Science* 291:438-439. <https://doi.org/10.1126/science.291.5503.438>
48. Lovejoy, T. E.; Nobre, C. 2018. Amazon Tipping Point. *Science Advances* 4(2): art. eaat2340. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aat2340>
49. McGinley, M. 2008. "Purus-Madeira moist forests". In: C. J. Cleveland (Ed.), *Encyclopedia of Earth*. Washington, D.C., E.U.A.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment. http://www.eoearth.org/article/Purus-Madeira_moist_forests.
50. MCT (Ministério de Ciência e Tecnologia). 2006. Amazônia. Projeto Geoma. Rede Temática de Pesquisa em Modelagem Ambiental da Amazônia, Brasília, DF: MCT. <http://www.geoma.Incc.br/>

51. Meirelles, F. de A.; Carrero, G. C.; Fernandes Neto, J. G.; Cenamo, M. C.; Guarido, P. C. P. 2018. Análise ambiental e socioeconômica dos municípios sob influência da rodovia BR-319. Manaus, AM: Instituto do Desenvolvimento Sustentável da Amazônia (IDESAM). . <https://idesam.org/analise-br319/>
52. MMA (Ministério do Meio Ambiente). 1999. Áreas Prioritárias para Conservação. Consulta Macapá. Brasília, DF.
53. Moullet, G. M.; Rennó, C. D.; Costa, F. R. C.; Thaise, E.; Schiatti, J. 2015. Mapping hydrological environments in central Amazonia: ground validation and surface model based on SRTM DEM data corrected for deforestation. *Earth System Science Data* 7: 29-34, <https://doi.org/10.5194/essd-7-29-2015>.
54. Oliveira Neto, T. 2014. A geopolítica rodoviária na Amazônia: BR-319. *Revista de Geopolítica* 5(2): 109-128. <http://www.revistageopolitica.com.br/index.php/revistageopolitica/article/view/113>
55. Pfaff, A. S. P. 1999. What drives deforestation In the Brazilian Amazon? *Journal of Environmental Economics and Management* 37: 26-43. <https://doi.org/10.1006/jeeem.1998.1056>
56. Pinheiro, H. A. 2011. Políticas públicas, urbanização e desenvolvimento na Amazônia: a construção da ponte sobre o Rio Negro e as consequências para o Distrito Cacaú Pirêra/Iranduba (AM). *V Jornada Internacional de Políticas Públicas. São Luís, MA*. http://www.joinpp.ufma.br/jornadas/joinpp2011/cdvjornada/jornada_eixo_2011/questao_ambiental_desenvolvimento_e_politicas_publicas/politicas_publicas_urbanizacao_e_desenvolvimento_na_amazonia.pdf
57. Pinto, E.; Shin, Y.; Cowling, S.; Jones, C. 2009. Past, present and future vegetation-cloud feedbacks in the Amazon Basin. *Climate Dynamics* 32(6): 741–751. <https://doi.org/10.1007/s00382-009-0536-5>
58. Projeto RADAMBRASIL. 1978. *Projeto RADAMBRASIL. Levantamento dos Recursos Naturais. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Uso Potencial da Terra*. Vol.17, SB-20, Purus. Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), Rio de Janeiro, RJ. 573 p.
59. Py-Daniel, L. R.; Deus, C. L de; Ribeiro, O. M.; Sousa, L. M. de. 2007. Peixes. In: L. R. Py-Daniel, C. P. Deus, A. L. Henriques, D. M. Pimpão & O. M. Ribeiro (Eds.). *Biodiversidade do Médio Madeira: Bases Científicas para Propostas de Conservação*. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).
60. Ramos, C. J. P. 2015, *Simulação da Dinâmica Espacial do Desmatamento nos Municípios sob Influência Direta da Ponte do Rio Negro, Amazonas*. Dissertação de mestrado em ecologia, Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 37 p. <http://bdtd.inpa.gov.br/handle/tede/1995>
61. Ramos, C. J. P.; Graça, P. M. L. A.; Fearnside, P. M. 2018. Deforestation dynamics on an Amazonian peri-urban frontier: Simulating the influence of the Rio Negro Bridge in Manaus, Brazil. *Environmental Management* 62(6): 1134-1149. <https://doi.org/10.1007/s00267-018-1097-3>
62. Rodrigues, H. O.; Soares-Filho, B. S.; Costa, W. L. S. 2007. Dinâmica EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Santa Catarina. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, Brazil. p 3089-3096. <http://mart.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.17.59/doc/3089-3096.pdf>
63. Rodrigues, M. da S. 2013. *Civilização do Automóvel: A BR-319 e a Opção Rodoviarista do Brasil*. Editora da Universidade Federal do Amazonas (EDUA). Manaus, AM. 250 p.

64. Röhe, F. 2007. Mamíferos de médio e grande porte. In: L. R. Py-Daniel, C. P. Deus, A. L.; Henriques, D. M. Pimpão & O. M. Ribeiro (Eds.). *Biodiversidade do Médio Madeira: Bases Científicas para Propostas de Conservação*. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). 244 p.
65. Röhe, F. 2012. Monitoring the impacts of the reopening of the BR-319 highway on local mammal community structure and abundances In the Madeira-Purus interfluvium, Amazonas, Brazil: baseline study. Wildlife Conservation Society – Brasil. Final Report for the Gordon and Betty Moore Foundation. 83 p.
66. Röhe, F.; Silva-Jr. J. S.; Sampaio, R.; Santos-Jr, M. A. 2008. Modelos preditivos de distribuição geográfica dos mamíferos do interflúvio Madeira-Purus, Amazônia Central, Brasil. In: *Anais da Conferência Científica Internacional Amazônia em Perspectiva: Ciência Integrada para um Futuro Sustentável, Manaus, AM*.
67. Röhe, F.; Silva Jr, J. S. Sampaio, R.; Rylands, A. B. 2009. A New Subspecies of *Saguinus fuscicollis* (Primates, Callitrichidae). *International Journal of Primatology* 30(4): 533-551. <https://doi.org/10.1007/s10764-009-9358-x>
68. Roriz, P. A. C., Yanai, A. M.; Fearnside, P. M. 2017. Deforestation and carbon loss in southwest Amazonia: Impact of Brazil's revised forest code. *Environmental Management* 60: 367. <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0879-3>.
69. Sampaio, R.; Munari, D. P.; Röhe, F.; Ravetta, A. L.; Rubim, P.; Farias, I. P.; Silva, M. N. F. da; Cohn-Haft, M. 2010. New distribution limits of *Bassaricyon alleni* Thomas 1880 and insights on an overlooked species in the Western Brazilian Amazon. *Mammalia* 74(3): 323–327. <https://doi.org/10.1515/MAMM.2010.008>.
70. Sampaio, R.; Röhe, F.; Rylands, A. B. 2018. Diversity of primates and other mammals in the middle Purus basin in the Brazilian Amazon. *Mammalia*. <https://doi.org/10.1515/mammalia-2016-0136>
71. Santos, J. G. dos; Malhado, A. C. M.; Ladle, R. J.; Correia R. A.; Costa, M. H. 2015. Geographic trends and information deficits in Amazonian conservation research. *Biodiversity and Conservation* 24: 2853–2863. <https://doi.org/10.1007/s10531-015-0981-x>
72. Santos Junior, M. A. dos. 2008. História natural e conservação do cançozinho-da-campina (*Cyanocorax* sp.), recém descoberta e ameaçada ave endêmica da Amazônia central, Amazonas, Brasil. Dissertação de Mestrado em Ecologia. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 86 p.
73. Santos Junior, M. A. dos; Graça, P. M. L. de A.; Rocha, V. M.; Silva, R. T. M. da; Bobrowiec, P. E. D.; Tavares, V. da C.; Fearnside, P. M. 2015a. Cenários de desmatamento e avaliação preditiva de perda de habitat na região de influência da rodovia BR-319. In: *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, João Pessoa*. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), p. 5694–5701. <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1166.pdf>
74. Santos Junior, M. A. dos; Graça, P. M. L. de A.; Rocha, V. M.; Anciães, M.; Cohn-Haft, M.; Abreu, F. H. T. de; Menger, J.; Antunes, A. P.; Bastos, A. N.; Röhe, F.; Venticinque, E. M.; Fearnside, F.P. M. 2015b. Avaliação preditiva de perda de habitat potencial para aves na região de influência da rodovia BR-319. In *Anais X Neotropical Ornithological Congress – NOC & XXII Congresso Brasileiro de Ornitologia – CBO, Manaus, AM*. p. 56.

75. SDS (Secretaria de estado do meio ambiente e Desenvolvimento Sustentável). 2005. Plano estratégico para promoção do desenvolvimento sustentável e o combate ao desmatamento e grilagem de terras na área de influência da BR-319. Versão 2.0. Manaus, AM: SDS.
76. Silva, M. N. F.; Bantel, C. G.; Arteaga, M. C.; Rossoni, D.; Leite, R.; Pinheiro P. S.; Rôhe, F.; El-ler, E. S. 2007. Estudos da Mastofauna do rio Madeira: Inventário de Roedores e marsupiais (Mammalia: Rodentia & Didelphimorphia). In: L. R. Py-Daniel, C. P. Deus, A. L. Henriques, D. M. Pimpão & O. M. Ribeiro (Eds.). *Biodiversidade do Médio Madeira: Bases Científicas para Propostas de Conservação*. Manaus, AM: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). 244 p.
77. Soares-Filho, B. S.; Alencar, A.; Nepstad, D.; Cerqueira, G. C.; Vera Diaz, M.; Rivero, S.; Solórzano, L.; Voll, E. 2004. Simulating the response of land-cover changes to road 1059 paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor. *Global Change Biology* 10: 745-764. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00769.x>
78. Soares-Filho, B. S.; Nepstad, D. C.; Curran, L.; Cerqueira, G. C.; Garcia, R. A.; Ramos, C. A.; McDonald, A.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P.; McGrath, D. 2005. Cenários de desmatamento para a Amazônia. *Estudos Avançados* 19(54): 138-152. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000200008>
79. Soares-Filho, B. S.; Nepstad, D. C.; Curran, L. M.; Cerqueira, G. C.; Garcia, R. A.; Ramos, C. A.; Voll, E.; McDonald, A.; Lefebvre, P.; Schlesinger, P. 2006. Modelling conservation In the Amazon basin. *Nature* 440: 520-523. <https://doi.org/10.1038/nature04389>
80. Soares-Filho, B. S.; Pennachin, C. L.; Cerqueira, G. 2002. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics In an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling* 154(3): 217-235. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00059-5)
81. Steffen, W.; Rockström, J.; Richardson, K.; Lenton, T. M.; Folke, C.; Liverman, D.; Summerhayes, C. P.; Barnosky, A. D.; Cornell, S. E.; Crucifix, M.; Donges, J. F.; Fetzer, I.; Lade, S. J.; Scheffer, M.; Winkelmann, R.; Schellnhuber, H. J. 2018. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, art. 201810141. <https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115>
82. Teixeira, K. M. 2007. Investigação de Opções de Transporte de Carga Geral em Containeres nas Conexões com a Região Amazônica. Tese de doutorado em engenharia de transportes. São Carlos, SP: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. 235 p. http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/PesquisaObraForm.do?select_action=&co_autor=33564
83. TCU (Tribunal de Contas da União). 2010. Solicitação do Congresso Nacional: Fiscalização das obras de pavimentação da BR-319. Brasília, DF: TCU. <http://www.tcu.gov.br/Consultas/Juris/Docs/judoc\Acord\20100226\015-334-2009-5-AUD-ALC.rtf>
84. UFAM (Universidade Federal do Amazonas); DNIT (Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes). 2009. Estudo de impacto ambiental da reconstrução da BR-319. Disponível em: http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/Dossie/BR-319/BR-319.htm
85. van der Ent, R. J.; Savenije, H. H. G.; Schaeffli, B.; Steele-Dunne, S. C. 2010. Origin and fate of atmospheric moisture over continents. *Water Resources Research* 46, W09525, <https://doi.org/10.1029/2010WR009127>
86. Veloso, H. P.; Rangel-Filho, A. L. R. R.; Lima, J. C. A. 1991. *Classificação da Vegetação Brasileira, Adaptada a um Sistema Universal*. Rio de Janeiro, RJ: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia

- e Estatística (IBGE). 124 p. <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS%20-%20RJ/classificacaovegetal.pdf>
87. Vitel, C. S. M. N.; Fearnside, P. M.; Graça, P. M. L. de A. 2009. Análise da inibição do desmatamento pelas áreas protegidas na parte Sudoeste do Arco de desmatamento. In: J. C. N. Epiphanyo & L. S. Galvão (Eds.). *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil*. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). p. 6377-6384. <http://martesid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.13.14.42/doc/6377-6384.pdf>
 88. Ximenes, A. C., Almeida, C. M., Amaral, S., Escada, M. I. S., Aguiar, A. P. D. 2008. Modelagem Dinâmica do Desmatamento na Amazônia. *Boletim de Ciências Geodésicas* 14 (2008): 370-391.
 89. Yanai, A. M.; Fearnside, P. M.; Graça, P. M. L. A.; Nogueira, E. M. 2012. Avoided deforestation In Brazilian Amazonia: Simulating the effect of the Juma Sustainable Development Reserve. *Forest Ecology and Management* 282: 78-91. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.029>.
 90. Zemp, D. C., Schleussner, C.-F.; Barbosa, H. M. J.; van der Ent, R. J.; Donges, J. F.; Heinke, J.; Sampaio G.; Rammig, A. 2014. On the importance of cascading moisture recycling in South America. *Atmospheric Chemistry and Physics* 14: 13.337–13.359. <https://doi.org/10.5194/acp-14-13337-2014>





Realização:



FUNDAÇÃO
VITÓRIA
AMAZÔNICA

Apoio:

