

**The text that follows is a TRANSLATION
O texto que segue é uma TRADUÇÃO**

Simulando desmatamento e perda de carbono na Amazônia: Impactos no Estado de Roraima devido à reconstrução da BR-319 (Manaus-Porto Velho)

Please cite the original article:

Favor citar o trabalho original:

Barni, P.E.; P.M. Fearnside & P.M.L.A. Graça. 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. <http://dx.doi.org/10.1007/s00267-014-0408-6>

Preprint or original article available at:

Preprint do trabalho original disponível em:

<http://philip.inpa.gov.br>

1 **Simulando desmatamento e perda de carbono na Amazônia: impactos no Estado**
2 **de Roraima devido à reconstrução da BR-319 (Manaus-Porto Velho)**

3

4 Paulo Eduardo Barni^{1,2}

5 Philip Martin Fearnside¹

6 Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça¹

7

8 ¹Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
9 Av. André Araújo, 2936, Manaus - Amazonas, CEP 69067-375, Brasil

10

11 ²Endereço atual: Universidade Estadual de Roraima, Rodovia BR-210, Km 70,
12 São João da Baliza – Roraima, CEP 69375-000, Brasil

13

14 E-mails:

15 P.E. Barni: paulinpa2007@gmail.com

16 P.M. Fearnside: pmfearn@inpa.gov.br

17 P.M.L.A. Graça: pmlag@inpa.gov.br

18

19

20 **Resumo** - O desmatamento na Amazônia leva à emissão de Gases de Efeito e à perda da
21 biodiversidade e dos serviços ambientais da floresta. O presente estudo realizou a
22 simulação de quatro cenários futuros de desmatamento e de emissões estimadas de
23 carbono para a atmosfera de 2008 a 2030, considerando uma área de aproximadamente
24 100 mil quilômetros quadrados referentes à região Sul do Estado de Roraima. Dois dos
25 cenários consideraram a hipótese da reconstrução e asfaltamento da rodovia BR-319
26 (Manaus – AM a Porto Velho – RO), possibilitando a chegada de um maior número de
27 imigrantes para a região e aumentando o desmatamento e a degradação florestal de
28 forma rápida e desordenada. Para a simulação dos cenários (dois *Business As Usual* –
29 negócios como sempre (BAU1 e 2) e dois cenários de conservação (CONSERV1 e 2))
30 foi utilizado o modelo AGROECO utilizando o arcabouço do *software* DINAMICA-
31 EGO. Dois cenários NÃO presumiram a BR-319 (BAU1 e CONSERV1) e dois cenários
32 presumiram a reconstrução e asfaltamento da BR-319 (BAU2 e CONSERV2) e dois Os
33 resultados mostraram que sob a hipótese da reconstrução e asfaltamento da BR-319 o
34 desmatamento aumentou em 60.638 a 204.125 hectares em 2030, comparando-se o
35 cenário BAU1 com o cenário CONSERV2 e o cenário CONSERV1 com o cenário
36 BAU2, respectivamente. As emissões de carbono para a atmosfera, decorrente dessas
37 diferenças, foram de $10,8 \times 10^6$ a $34,3 \times 10^6$ toneladas de carbono. Comparando o
38 cenário BAU1 com o cenário BAU2 a diferença em área desmatada foi de 143.398 ha e
39 correspondeu a emissão de $23,9 \times 10^6$ toneladas de carbono para a atmosfera. A
40 reconstrução e asfaltamento da BR-319 farão o desmatamento aumentar entre 18 e 42%
41 no sul do Estado de Roraima em 2030. As emissões de carbono para a atmosfera neste
42 período, decorrentes desse desmatamento sofrerão aumentos em percentuais
43 semelhantes (entre 19 e 42%). Este estudo demonstra que a reconstrução da BR 319,
44 ligando Manaus a Porto Velho, pode ter impactos ao ambiente muito além da sua área
45 de influência oficial no interflúvio dos rios Madeira-Purus. Seus efeitos podem se
46 irradiar até Roraima, proporcionado pela atual malha viária. Medidas mitigadoras para
47 redução desses impactos deveriam incluir também a criação de UCs em Roraima em
48 áreas mais vulneráveis à pressão antrópica, caso a reconstrução da BR-319 venha se
49 concretizar.

50

51 **Palavras-chave:** Aquecimento global, Uso do solo, Mudança do uso da terra, Carbono,
52 Floresta tropical, Mudança climática

53

54 **Abstract** - Deforestation in the Amazon region leads to emission of greenhouse gases
55 and to loss of biodiversity and of forest ecosystem services. The present study simulated
56 four future scenarios of deforestation and estimated carbon emissions to the atmosphere
57 from 2008 to 2030, considering an area of approximately 100 thousand square
58 kilometers referring to the southern region of the state of Roraima. Two of the scenarios
59 considered the hypothesis that highway BR-319 (Manaus - AM to Porto Velho - RO)
60 would be reconstructed and paved, making possible the arrival of a greater number of
61 immigrants to the region and increasing deforestation and forest degradation in a fast
62 and disorderly manner. For the simulation of the scenarios (two Business As Usual -
63 business as usual [BAU1 and 2] and two conservation scenarios [CONSERV1 and 2]),
64 the AGROECO model was used using the DINAMICA-EGO software framework. Two
65 scenarios assumed the reconstruction and asphaltting of BR - 319 (BAU2 and
66 CONSERV2) and two did not presume BR-319 (BAU1 and CONSERV1). The results
67 showed that under the hypothesis of the reconstruction and asphaltting of the BR-319,

68 deforestation increased from 60,638 to 204,125 hectares in 2030, comparing the BAU1
69 scenario with the CONSERV2 scenario and the CONSERV1 scenario with the BAU2
70 scenario, respectively. The carbon emissions to the atmosphere resulting from these
71 differences were from 10.8×10^6 to 34.3×10^6 tons of carbon. Comparing the BAU1
72 scenario with the BAU2 scenario, the difference in deforested area was 143,398 ha and
73 corresponded to the emission of 23.9×10^6 tons of carbon into the atmosphere. The
74 reconstruction and asphaltting of the BR-319 will cause deforestation to increase
75 between 18 and 42% in the south of the State of Roraima in 2030. The carbon emissions
76 to the atmosphere in this period resulting from this deforestation will suffer increases in
77 similar percentages (between 19 and 42%). This study demonstrates that the
78 reconstruction of BR-319, linking Manaus to Porto Velho, may have impacts on the
79 environment well beyond its official area of influence in the Madeira-Purus river
80 interflow. Its effects can radiate to Roraima, provided by the current road network.
81 Mitigating measures to reduce these impacts should also include the creation of PAs in
82 Roraima in areas more vulnerable to human pressure should the BR-319 be rebuilt.

83

84 **Keywords:** Global warming, Land use, Land-use change, Carbon, Tropical forest,
85 Climate change

86

87 **Introdução**

88

89 O desmatamento é a forma mais drástica e definitiva de mudança de uso da terra
90 na Amazônia e a mais danosa ao meio ambiente e à biodiversidade. Por exemplo, a
91 Extração seletiva de madeira (ESM), se conduzida dentro dos preceitos aceitáveis de
92 manejo florestal, não reduz a biodiversidade significativamente e pode trazer benefícios
93 à floresta e às comunidades humanas. Por outro lado se a ESM for conduzida de forma
94 desordenada e predatória poderá causar danos irreversíveis a floresta em termos de
95 extinção local de várias espécies madeiráveis, levando, ocasionalmente, à perda de
96 importantes serviços ambientais prestados pela floresta além de deixá-la vulnerável à
97 incidência de incêndios florestais. Em florestas ecotonais e, mais recentemente em
98 florestas densas, a ocorrência de incêndios florestais de sub-bosque e a sua reincidência
99 podem danificar e mudar a estrutura da floresta e o seu conteúdo de biomassa
100 (MARTINS et al., 2012; XAUD et al., 2013). Embora esses fenômenos sejam causados
101 pela ação e intervenção humana na floresta, não chegam a danificá-la o suficiente para
102 impedir que, em poucos anos e por causa da sua resiliência natural, ela se recupere e
103 volte a ser produtiva novamente.

104

105 No entanto, o desmatamento é uma ação sem retorno para os serviços ambientais
106 (FEARNSIDE, 2008a) e para a biodiversidade da flora e da fauna locais, porque é
107 necessário que a floresta esteja de pé para cumprir plenamente o seu papel. Mesmo que
108 sessem todas as ações humanas sobre a área desmatada e a deixássemos a cargo da
109 regeneração natural, seriam necessárias centenas de anos até que surgisse no local outra
110 floresta, com características semelhantes à original.

111

112 Por isso, o desmatamento na Amazônia não é assunto trivial e assume um papel
113 de altíssima relevância. O seu estudo requer abordagens muitas vezes originais e
114 inusitadas como, por exemplo, o uso de cenários futuros. Essa abordagem é possível
115 graças ao grande avanço observado atualmente nas áreas da informática e,
116 conseqüentemente, no uso e desenvolvimento de ferramentas e técnicas de

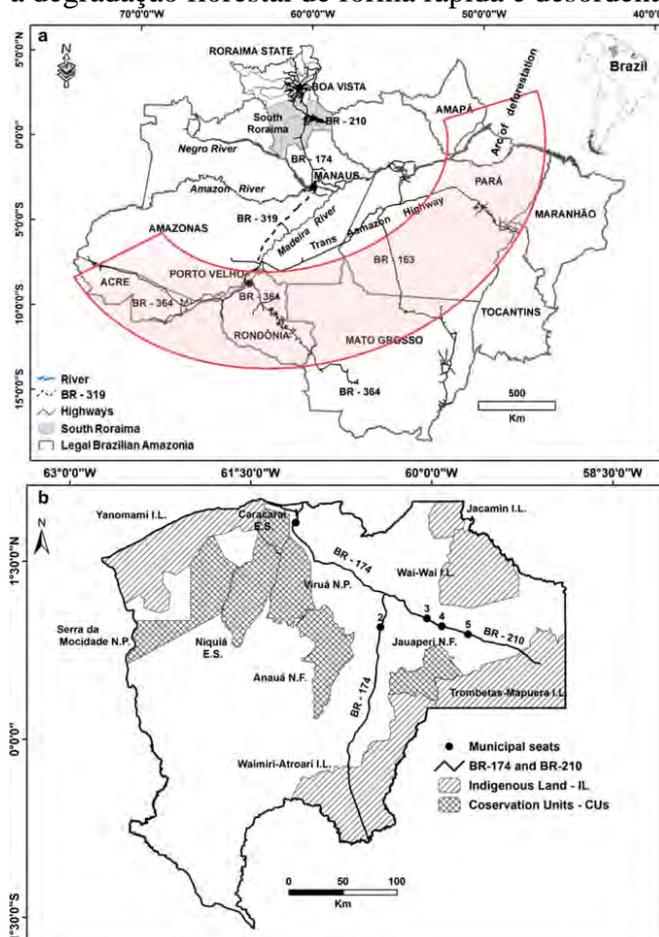
117 Sensoriamento Remoto (SR), geoprocessamento e de Sistemas de Informações
118 Geográficas (SIG).

119

120 Na criação de cenários futuros, são usados modelos de simulação executados em
121 *softwares* especialmente desenvolvidos para esse fim. Os cenários futuros prestariam
122 para um melhor entendimento dos padrões subjacentes aos processos dinâmicos
123 relacionados ao desmatamento, por exemplo. A simulação de desmatamento pode ser
124 vista como um instrumento de aquisição de conhecimento a partir da integração e
125 aplicação da informação (obtida por mapas de SR e SIG) sobre sistemas dinâmicos
126 como é a paisagem amazônica no advento recente das grandes migrações humanas para
127 a região.

128

129 Este capítulo apresenta a simulação de quatro (4) cenários futuros de
130 desmatamento e apresenta estimativas de emissões de carbono para a atmosfera
131 resultante destes cenários. As simulações foram executados de 2008 a 2030,
132 considerando uma área de aproximadamente 100 mil quilômetros quadrados referentes à
133 região Sul do Estado de Roraima. Os cenários foram construídos a partir da hipótese da
134 reconstrução e asfaltamento da BR-319 (Manaus – AM a Porto Velho – RO)
135 possibilitando a chegada de um maior número de imigrantes para a região e aumentando
136 o desmatamento e a degradação florestal de forma rápida e desordenada.



137

138 **Figura 1.** Em (a) Amazônia Legal brasileira destacando o “arco do desmatamento”
139 (faixa em cor rosa) e em (b) a região sul de Roraima. E.S. =Estação Ecológica, I.L.=
140 Terras Indígenas, N.F.= Floresta Nacional. N.P.= Parque Nacional e BR indica rodovias
141 federais. Sedes municipais: 1 Caracaraí, 2 Rorainópolis, 3 São Luiz, 4 São João da
142 Baliza e 5 Caroebe.

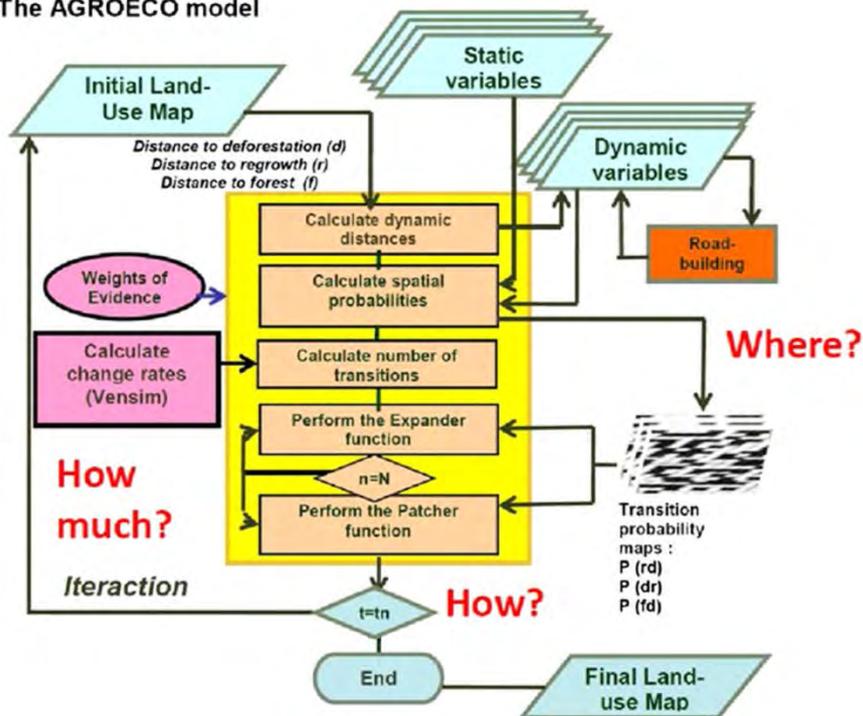
143 Material e Métodos

144 Modelo espacial utilizado nas simulações

145

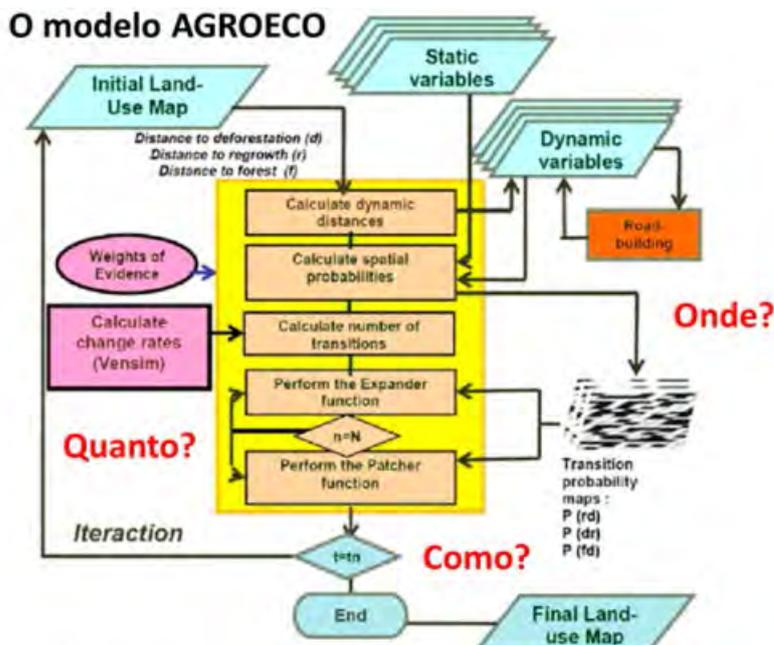
146 Para a criação dos cenários futuros da região Sul de Roraima utilizou-se o modelo
 147 AGROECO, desenvolvido por Fearnside et al. (2009), com base no arcabouço do
 148 *software* DINAMICA-EGO (SOARES-FILHO et al., 2006). O modelo AGROECO
 149 (Figura 2) incorpora uma série de inovações às concepções originais deste *software*
 150 (FEARNSIDE et al., 2009) como por exemplo, a incorporação de estradas planejadas no
 151 futuro. O modelo AGROECO “orienta” O *software* DINAMICA-EGO, sinalizando, por
 152 exemplo, ONDE será o desmatamento (orientação espacial ou local), QUANTO será
 153 desmatado (orientação relativa às taxas de desmatamento) e COMO será o processo de
 154 desmatamento (orientação relacionada à severidade ou quantidade de desmatamento em
 155 um determinado local situado no mapa). Como ilustrado na Figura 2, o DINAMICA-
 156 EGO trabalha com o conceito de camadas de informações ou “empilhamento de
 157 mapas”.

The AGROECO model



158

159



160
161 **Figura. 2.** Ilustração conceitual do modelo AGROECO (adaptado por VITEL, 2009).
162

163 Premissas para os cenários simulados

164
165 Foram simulados quatro cenários de desmatamento e emissões de carbono entre 2007 e
166 2030 para o Sul do Estado de Roraima. Dois deles presumiram a reconstrução e
167 asfaltamento da BR-319 em 2011: um cenário Business As Usual2 - BAU2 (negócios
168 como sempre) e CONSERV2, (cenário de conservação). Os outros dois cenários, um
169 Business As Usual1 - BAU1 (negócios como sempre) e o outro de conservação
170 (CONSERV1) presumiram a não reconstrução da BR-319. Os cenários foram
171 construídos a partir de algumas premissas (ou suposições). Premissas são imposições ao
172 modelo, baseadas em algumas condições pré-definidas, para se obter respostas e ajudar
173 na interpretação dos cenários gerados posteriormente durante as simulações (Tabela 1).
174 Essas premissas foram elaboradas através da literatura e baseadas no contexto histórico
175 de ocupação da área de estudo. As premissas do cenário BAU1 (sem reconstrução da
176 BR-319) supõem que o desmatamento irá ocorrer no futuro semelhantemente o que vem
177 sendo observado atualmente na região (BARNI et al., 2012; BARBOSA et al., 2008). A
178 incorporação de estradas planejadas, tanto no cenário BAU1 como no BAU2 (com
179 reconstrução da BR-319), supõe o aumento da rede viária através de ações oficiais do
180 governo do Estado na criação e ampliação de Projetos de Assentamento (PAs) e
181 pavimentação de outras estradas oficiais adicionais. E também da criação de estradas
182 não oficiais a partir das ações decorrentes das atividades de madeireiros e grileiros em
183 áreas de invasões de terras públicas. As premissas que norteiam o cenário BAU2
184 pressupõem um agravamento do quadro verificado em 2007 no sul de Roraima. Isto em
185 função da suposição da reconstrução e asfaltamento da BR-319 em 2011 e a presunção
186 de ocorrência de um forte fluxo migratório vindo para Roraima utilizando a estrada.
187 Esse fluxo migratório causa aumento nas taxas de desmatamento semelhantes aos
188 observados entre 1997 e 2001 dentro de PAs criados entre 1995/1997 na área de estudo.
189

190 Os cenários CONSERV1 e CONSERV2 (cenários de conservação sem a BR-319 e com
191 a BR-319, respectivamente) sugerem a criação de Unidades de Conservação (UCs) onde
192 se verificavam forte pressão antrópica no sul de Roraima. Essa pressão se caracterizava
193 através de grilagens de terras públicas com a conversão da floresta em pastagens e corte

194 ilegal de madeira, ameaçando grandes blocos de florestas contínuas sem status de
 195 conservação. Para simular políticas de contenção ao desmatamento sob estes dois
 196 cenários, as estradas que tinham como destino esses blocos de florestas nos dois
 197 cenários BAU foram retiradas do modelo, tendo permanecido aquelas que se dirigiam
 198 para outras direções. Em relação as TI (todos cenários simulados) e as UCs propostas
 199 (cenários de conservação 1 e 2), foi presumido que não haveria desmatamento em seu
 200 interior. Sendo que as UCs já implantadas na região sul até 2007 estariam sujeitas às
 201 probabilidades de haver desmatamento calculadas pelo modelo. Tanto o cenário BAU2
 202 como o CONSERV2, ambos presumindo o asfaltamento da BR-319, sofrem um
 203 aumento em suas taxas de desmatamento a partir de 2012 em função da aplicação pelo
 204 modelo de um Fator de Migração (FM). Esse fator, derivado da área de estudo, foi igual
 205 a três (3).

206

207 **Tabela 1.** Condições para os quatro modelos de simulação do Sul do Estado de
 208 Roraima.

| CENÁRIO | BR-319 | Estradas planejadas | Reservas (UCs) | Fator de migração | *TBA | **TEP |
|-----------------|---------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------|--------------|
| BAU1 | Não | Sim | Não | Não | Sim | Sim |
| CONSERV1 | Não | Não | Sim | Não | Sim | Não |
| BAU2 | Sim | Sim | Não | Sim | Sim | Sim |
| CONSERV2 | Sim | Não | Sim | Sim | Sim | Não |

*Taxa Básica Anual

**Taxa de estradas planejadas

209

210 **Dados espaciais de entrada**

211

212 Foram usadas as seguintes variáveis como entrada para o modelo de simulações:

213

214 1. Mapas de uso da terra:

215 Mapas de 2004 e 2007 fornecidos pelo PRODES (Brasil, INPE, 2018),
 216 usados para os cálculos da taxa de transição e dos pesos de evidência.

217

218 2. Mapas de variáveis estáticas:

219

220 a) Altitude; (Brasil, SIPAM, 2008)

221 b) Declividade; (derivado de dados SRTM)

222 c) Solos; (IBGE/RADAMBRASIL)

223 d) Vegetação; (IBGE/RADAMBRASIL)

224 e) Terras Indígenas e Unidades de Conservação; (IBAMA e ISA)

225 f) Distância a rios; (Brasil, SIPAM, 2008)

226 g) Distância a estradas secundárias (vicinais); (derivado de dados de malha
 227 viária de 1998 (Brasil, SIPAM, 2008) e atualizado pelo autor para 2007 a
 228 partir de imagens Landsat TM)

229 h) Distância a estradas principais; (Brasil, SIPAM, 2008)

230 i) Distância aos Projetos de Assentamento. (Brasil, INCRA, 2007)

231

232 3. Mapas de fricção:

233

234 Os mapas de fricção foram elaborados combinando dados de declividade,
 235 áreas de Unidades de Conservação e de Terras Indígenas existentes na área
 236 de estudo. Os mapas de fricção influenciam a atividade do construtor de
 237 estradas criando uma espécie de superfície de custo. Ou seja, em áreas
 238 vizinhas às áreas de conservação e em locais de grande declividade a
 239 atividade de construção de estradas seria limitada. Em áreas onde o relevo é
 240 plano a atividade do construtor seria favorecida.

241

242 4. Mapas de atratividade:

243

244 Os mapas de atratividade são calculados conforme os atributos espaciais e
 245 físicos locais da área, considerando-se fatores que atraem ou repelem
 246 atividades antrópicas. São mapas que integram informações cartográficas de
 247 áreas inundáveis, áreas de aptidão agrícola ou áreas de proteção. Esses
 248 mapas também servem para orientar as atividades do construtor de estradas
 249 (SOARES-FILHO et al., 2006). Mapas de fricção e de atratividade foram
 250 combinados para compor cada uma das três fases da simulação onde são
 251 caracterizados os ciclos de maior ou menor atividade do construtor de
 252 estradas.

253

254 **Cálculo dos Pesos de Evidência**

255

256 O DINAMICA-EGO trabalha com o conceito de pesos de evidencia na execução do
 257 modelo preditivo de desmatamento. Os pesos de evidência são originados do método
 258 Bayesiano de probabilidade condicional. Na modelagem da dinâmica de mudanças de
 259 uso e cobertura da terra, especificamente, eles são aplicados para calcular
 260 probabilidades, a posteriori, da ocorrência de desmatamento, sabendo-se, a priori, de
 261 locais e condições favoráveis de ocorrência do desmatamento. Nesse passo da
 262 modelagem os mapas de uso da terra, as variáveis estáticas e dinâmicas foram
 263 combinadas num sub-modelo do DINAMICA-EGO para extração dos pesos de
 264 evidência. A influência dos pesos de evidência sobre as variáveis pode ser positiva
 265 (favorece o desmatamento) ou negativa (inibe o desmatamento). Os pesos de evidência
 266 são recalculados a cada iteração do modelo considerando a superfície total de floresta
 267 disponível em uma dada iteração. Na simulação os pesos de evidência representam a
 268 “quantidade” de influência de cada variável na probabilidade espacial de transição de
 269 uma célula, em um determinado estado (i), mudar para outro estado (j) em função da
 270 sua localização dentro de uma dada faixa de distância. Dessa forma, a maior
 271 probabilidade de mudança de estado terá aquela célula cuja localização está na faixa
 272 mais próxima da classe de interesse.

273

274 **As funções *Patcher* e *Expander***

275

276 O DINAMICA-EGO utiliza como regra local para o algoritmo de autômato celular um
 277 mecanismo de transição composto de duas funções complementares, o *Patcher* e o
 278 *Expander*. A função *Patcher* procura por células ao redor de um local escolhido para
 279 uma transição combinada e formação de novas manchas através de um mecanismo de
 280 semeadura. Isto é feito primeiramente elegendo a célula central de uma nova mancha e
 281 então selecionando um número específico de células ao redor da célula central, de
 282 acordo com sua probabilidade de transição $P(ij)$ calculada pelos pesos de evidência. A
 283 função *Expander* é dedicada apenas à expansão ou contração de manchas prévias de

284 certa classe. Na função *Expander* uma nova probabilidade de transição espacial P (ij)
 285 depende da quantidade de células do tipo j ao redor de uma célula do tipo i. Para a
 286 construção dos cenários foram usadas as transições floresta / desmatamento (3=>1),
 287 desmatamento / regeneração (1=>2) e regeneração / desmatamento (2=>1).

288

289 **Construtor de estradas**

290

291 O módulo construtor de estradas utiliza os conceitos de atratividade e fricção para seu
 292 funcionamento e tem como objetivo ampliar a malha rodoviária a partir de estradas
 293 existentes. Para isso foi levado em consideração parâmetros como o grau de atratividade
 294 de uma região ao desmatamento, o custo do traçado, a densidade de estradas por área e
 295 o comprimento médio de segmentos de estrada por passo. O construtor de estradas
 296 aumenta sua atividade de construção quando a maioria das estradas construídas já tenha
 297 produzido desmatamento nas suas proximidades.

298

299 **Calendário de estradas**

300

301 Neste trabalho e para todos os cenários, as estradas principais planejadas para o futuro
 302 obedeceram ao cronograma oficial do governo de Roraima para a pavimentação de
 303 estradas. As estradas secundárias de maior comprimento foram mapeadas usando o
 304 método MCE (*Multiple Criteria Evaluation*), implementado no software DINAMICA-
 305 EGO. Foram constatadas em campo atividades de grilagem e demarcação de terras
 306 públicas no final de algumas estradas vicinais com carregadores construídos por
 307 madeireiros. Assim, no cenário BAU1 (sem a BR-319) e no BAU2 (com a BR-319),
 308 presumimos que estradas serão construídas futuramente para facilitar o acesso a essas
 309 áreas de invasões, induzindo desmatamentos futuros. As datas prováveis de construção
 310 das estradas secundárias foram estimadas baseando-se nas entrevistas de campo e na
 311 consulta à literatura (Tabela 2).

312

313 Tabela 2. Calendário de asfaltamento e construção de estradas projetadas para o futuro
 314 aplicado ao modelo AGROECO para todos os cenários (exceto alguns destinos nos
 315 cenários de conservação).

| Ano | Nome | Compri | | Localidade (município) |
|--------------|-----------------------------------|------------|------------------|-------------------------|
| | | mento | *Área (ha) | |
| | | (km) | | |
| 2008 | BR-174 e BR-210 | 526 | - | Todos |
| 2009 | Trecho BR-210 | 63 | 75.600 | São João / Caroebe |
| 2011 | Estradas vicinais | 140 | 168.000 | Rorainópolis |
| 2012 | RR-170 e BR-422 | 136 | 163.200 | Caracará / Rorainópolis |
| 2013 | Estradas do rio Engano | 264 | 316.800 | Caracará |
| 2014 | Estradas Lago Jatapú | 73 | 87.600 | Caroebe |
| 2015 | Continuação da vicinal 07 | 65 | 78.000 | Caroebe |
| 2018 | Estrada para Sta. Maria do Boiaçú | 126 | 151.200 | Rorainópolis |
| Total | - | 867 | 1.040.400 | - |

*Área disponibilizada pela estrada para desmatamento

316

317 **Relação entre estradas e taxa de desmatamento dinâmico**

318

319 A construção de estradas incorpora uma superfície de floresta, atualizada a cada iteração
 320 na simulação, definida por uma faixa (*buffer*) de 6 km a ambos os lados das estradas. A
 321 superfície assim definida é denominada de floresta acessível. Deste modo a superfície
 322 de floresta acessível pode aumentar no máximo de 12 km² (1.200 ha) para cada
 323 quilômetro de estrada construída, nos casos de estradas de penetração. Já nos casos de
 324 estradas vicinais ou ramais, o aumento da superfície disponível poderá ser até nulo. A
 325 incorporação de superfície de floresta disponível é minimizada quando existirem áreas
 326 de proteção integral ou terras indígenas vizinhas ao traçado. Estas áreas não se
 327 incorporarão à floresta disponível e a construção de estradas endógenas (internas no
 328 DINAMICA-EGO) é inibida. O incremento da superfície de floresta disponível é zero
 329 quando a construção de estradas acontece nas proximidades ou dentro de UC's, embora
 330 as estradas possam ser de penetração.

331

332 O conceito de acessibilidade implica que a atividade de construção de estradas
 333 aumentará positivamente o desmatamento. Esse efeito é conseguido aplicando-se taxas
 334 internas de desmatamento.

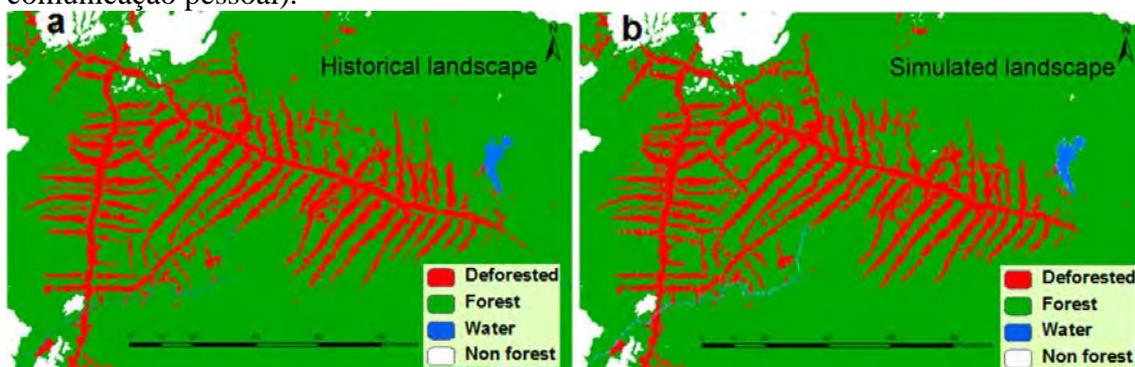
335

336 **Validação do modelo de simulação**

337

338 O modelo foi validado através de rodadas de simulação entre os anos de 2004 a 2007
 339 usando o mapa de uso da terra de 2004 como mapa de entrada e os parâmetros da
 340 calibração para o cenário BAU1 (sem a BR-319), do Sul do Estado de Roraima (Figura
 341 3). O mapa gerado foi comparado ao mapa de uso da terra de 2007 fornecido pelo
 342 PRODES (BRASIL, INPE, 2018). Para isso, foi usada a técnica de comparação de
 343 similaridade recíproca, do método da similaridade *fuzzy* (HAGEN, 2003). É importante
 344 destacar que nesta abordagem se compararam mapas de diferenças, ou seja, mapas de
 345 desmatamento simulado, e não de desmatamento acumulado (B.S. SOARES-FILHO.
 346 comunicação pessoal).

347



348 **Figura 3.** Detalhe ampliado (1:700.000) da área de estudo (a) comparando o
 349 desmatamento observado em 2007 pelo PRODES (BRASIL, INPE, 2018), com o
 350 desmatamento simulado pelo modelo (b).

351

352 **Criação das UCs para os cenários de Conservação**

353

354 As UCs propostas para os cenários de Conservação somaram uma área de
 355 aproximadamente 695.000 ha. A forma e a localização foram planejadas para permitir a
 356 conectividade com outras UCs já implantadas na região, formando um imenso corredor
 357 desde o sul e sudeste, e chegando ao nordeste, da região Sul de Roraima (FERREIRA &
 358 VENTICINQUE, 2007). As florestas que ocupam grande parte da região sul de
 359 Roraima são ombrófilas densas, ou seja, de dossel fechado (BARBOSA et al., 2008) .

360 Estas florestas se encontram hoje bastante vulneráveis pela extração ilegal de madeiras e
361 até mesmo pelo corte raso, uma vez que já há denúncias de invasão nessas áreas,
362 inclusive confirmadas por observações em imagens de satélites. A criação de parques
363 representa um componente central nas estratégias de conservação da biodiversidade nos
364 trópicos (BRUNER et al., 2001).

365

366 **Estimativa de biomassa florestal**

367

368 Na estimativa de biomassa florestal abaixo e acima do solo (excluindo o carbono do
369 solo), foi utilizado o mapa de densidade média de biomassa calculada para o Estado de
370 Roraima. Esse mapa foi derivado do mapa de biomassa para a Amazônia, desenvolvido
371 por Nogueira et al. (2008). Para o atual trabalho, considerou-se biomassa florestal
372 somente aquela proveniente de formações florestais primárias, que não tiveram histórico
373 de corte raso prévio (FEARNSSIDE, 2009).

374

375 Para os ecossistemas de “campina” e de savana (localmente denominada de “lavrado”,
376 sem representação nos inventários do RADAMBRASIL) (Brasil, Projeto
377 RADAMBRASIL, 1973-84), foram usados os estudos de Barbosa & Ferreira (2004) e
378 de Barbosa & Fearnside (2005). Para estimar a biomassa de raízes desses ecossistemas
379 foi usada a razão (raíz/caule) de 2.81 (R.I. BARBOSA, comunicação pessoal, 2009).

380

381 **Estimativa de biomassa da vegetação secundária simulada e outros tipos de** 382 **vegetação da paisagem em equilíbrio**

383

384 No modelo AGROECO, adaptado para este estudo, considerou-se que a vegetação
385 secundária espacializada na simulação, para cada iteração, foi originada de áreas
386 desmatadas para fins de pecuária. As pastagens são, ainda hoje, o principal tipo de uso
387 da terra na Amazônia, correspondendo a entre 75 e 81% das áreas desmatadas
388 (BARRETO et al., 2008; GREENPEACE, 2009).

389

390 Para estimar a biomassa de vegetação secundária simulada anualmente e as
391 remanescentes nos cenários de 2030, mapas binários com pixels da classe de vegetação
392 secundária gerados a cada iteração foram submetidos a operações de álgebra de mapas.
393 Esse procedimento visou determinar a composição das paisagens geradas anualmente
394 pelo modelo de simulação relativo à idade da vegetação secundária proveniente de
395 pastagens abandonadas em determinada paisagem. Ou seja, determinar quanto da
396 vegetação secundária criada na paisagem no tempo t_0 permanece em uma paisagem
397 criada no tempo t_1 . As operações consistiram de cruzamentos sistemáticos entre os
398 mapas gerados ao longo das simulações e que foram recuperados a cada iteração pelo
399 DINAMICA-EGO, de 2008 a 2030. A composição da vegetação secundária simulada
400 nas paisagens anuais foi determinada verificando-se sua abundância relativa na
401 paisagem de 2030, e, de forma auxiliar, em função do tempo de permanência das células
402 de vegetação secundária na paisagem. Como tempo de permanência, considerou-se os
403 resultados dos cálculos realizados sobre os dados de vegetação secundária simulados no
404 cenário BAU1 (sem a BR-319). Para isso, foi utilizado o conceito de “meia-vida” da
405 vegetação em regeneração, baseado na metodologia de Almeida (2008). Este autor
406 define como “meia-vida” da vegetação secundária o tempo necessário para que a
407 metade das células da vegetação secundária, mapeados em um tempo t , desapareçam em
408 um tempo $t+1$.

409

410 **Estimativa de emissões de carbono para a atmosfera**

411

412 A biomassa florestal foi convertida em carbono utilizando o fator de conversão de 0,485
413 (SILVA, 2007; NOGUEIRA, 2008). Considerou-se o conteúdo de carbono da vegetação
414 secundária simulada, de pastagens e de agricultura formando a paisagem em equilíbrio,
415 o carbono sendo 45% do peso seco estimado para a sua biomassa (FEARNSIDE, 1996,
416 2000). As estimativas de emissões de cada cenário intermediário, simulado anualmente
417 até 2030, foram calculadas a partir da perda do estoque de carbono existente nas
418 florestas remanescentes em 2007 até cada ano intermediário específico. A cada ano
419 simulado, descontou-se o carbono da paisagem em equilíbrio juntamente com o carbono
420 da vegetação secundária simulada. Presumiu-se que a vegetação secundária simulada,
421 nos diferentes estádios de regeneração, comporia a paisagem em equilíbrio juntamente
422 com as outras categorias de uso da terra após o corte raso da floresta. Isto é para se
423 calcular as emissões líquidas anuais de carbono para a atmosfera a partir do corte da
424 biomassa florestal. Dessa forma, a cada ano da simulação descontou-se do carbono
425 emitido proveniente do corte raso da floresta o carbono contido na paisagem em
426 equilíbrio substituindo a floresta conforme Fearnside et al. (2009): $\Delta C_{(\text{Cenário})} = A \times$
427 $(C_{\text{antes}} - C_{\text{depois}})$, onde: “ $\Delta C_{(\text{Cenário})}$ ” é o carbono líquido emitido (ton C) pelo
428 desmatamento entre 2007 e 2030 para cada cenário simulado, descontando o estoque
429 médio de carbono na paisagem em equilíbrio que substitui a floresta (FEARNSIDE,
430 1996), “A” é a área (ha) desmatada no período, e “ C_{antes} ” e “ C_{depois} ” representam os
431 estoques de carbono na paisagem antes e depois do desmatamento (ton C).

432

433 **Resultados e discussão**

434

435 **Validação do modelo**

436

437 A validação do modelo é importante para saber se ele é capaz de capturar informações
438 essenciais do mundo real e determinar o grau de realismo atribuídos aos resultados da
439 simulação dos cenários. Nosso modelo foi validado após rodadas de simulação
440 comparando-se o mapa simulado da paisagem do sul do Estado em 2007 com o mapa de
441 desmatamento do PRODES (BRASIL, INPE, 2018) obtendo-se um índice de 54,7% de
442 similaridade entre os mapas. Para esse propósito um índice acima de 50% de
443 similaridade é considerado suficiente para validação, uma vez que não há uma regra
444 geral para a calibração de modelos de simulação (MAZZOTI & VINCI, 2007).

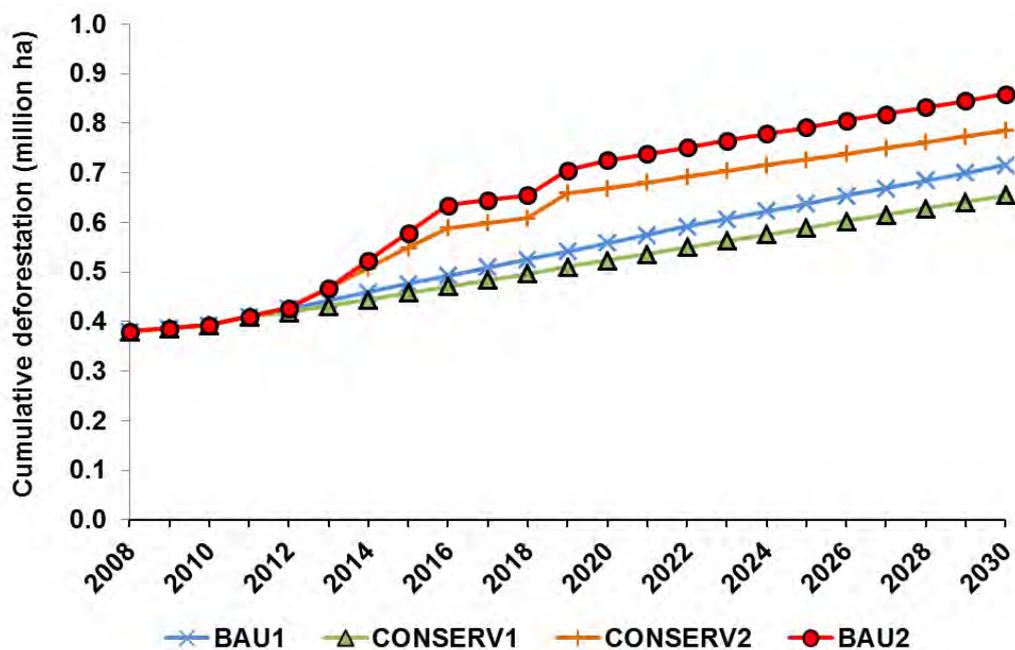
445 **Biomassa e carbono sequestrados pela vegetação secundária simulada**

446 O percentual médio de 15,1% (da área total desmatada) de vegetação secundária
447 derivada das pastagens degradadas e simulada nos quatro cenários foi semelhante ao
448 percentual (13%) encontrado por Ferraz et al. (2005) simulando cenários futuros em
449 Rondônia. Em uma estimativa realizada por cadeia de Markov, considerando a
450 Amazônia como um todo, foi utilizado um índice de ocupação de vegetação secundária
451 de 32% do total da área desmatada (RAMANKUTTY et al., 2007). Estudos recentes
452 baseados em técnicas de sensoriamento remoto para análise de imagens de satélites
453 indicam um percentual de 19 a 28% da área desmatada na Amazônia brasileira sendo
454 ocupada por vegetação secundária (ALMEIDA et al., 2010; CARREIRAS et al., 2014;
455 NEEFF et al., 2006). Devido aos resultados serem semelhantes aos da literatura, nossa
456 abordagem pode ser usada utilizada para simular cenários realísticos de emissões de
457 carbono para a atmosfera provenientes de cenários de mudanças de uso e cobertura da
458 terra na Amazônia.

459 **Desmatamento acumulado sob os quatro cenários simulados**

460 A Figura 4 mostra a evolução do desmatamento acumulado em cada cenário simulado.
461 As curvas representando os cenários BAU1 e CONSERV1, sem a presunção da BR-319
462 apresentam evolução do desmatamento de forma linear e constante no tempo,
463 semelhante ao observado atualmente em Roraima e no sul do Estado (e.g., BARBOSA
464 et al., 2008; BARNI et al., 2012, 2015). Também é possível verificar um forte
465 crescimento do desmatamento sob os cenários BAU2 e CONSERV2, devido à aplicação
466 do fator de migração pelo modelo iniciando em 2013 e às taxas se estabilizado em 2020.
467 O cenário BAU1 (considerado de linha de base para a simulação) projetou a evolução
468 histórica do desmatamento na região. A construção de estradas principais planejadas
469 para o futuro e de estradas endógenas ou secundárias (construída por madeireiros, e
470 automatizadas no modelo) quase que dobraram a área desmatada inicialmente em 2007
471 (372.250 ha), alcançando uma área de 715.250 ha em 2030 e apresentando aumento de
472 92% no período analisado. O cenário BAU2 (com a BR-319) mostra uma possível
473 trajetória, no tempo e no espaço, de que estradas são precondições favoráveis ao
474 desmatamento. Estas precondições, combinadas com um provável fluxo migratório para
475 Roraima provocado pela reabertura da BR-319 em 2011, são simulados pelo modelo
476 aplicando taxas de desmatamento similares àquelas observadas no passado recente em
477 Roraima. Essas taxas foram aplicadas sobre um curto espaço de tempo (2013 – 2018)
478 acompanhando o calendário de estradas programadas para serem construídas no futuro.
479 Neste cenário a reconstrução e abertura da BR-319 ocorre em 2011 e acumula uma área
480 desmatada de 486.000 ha até em 2030, ou seja, um acréscimo de 130,4% sobre a área
481 inicial em 2007 (Tabela 3). Nos cenários CONSERV1 e CONSERV2 (com e sem a BR-
482 319) um aumento no desmatamento ocorreu a partir da rede de estradas pré-existentis
483 localizadas nos Projetos de Assentamento (Figura 4c, d). Isto indica que poderá haver
484 uma intensificação do uso da terra nestes locais devido às restrições ao desmatamento
485 impostas pelo modelo simulando um cenário de conservação com a implementação de
486 unidades de conservação. CONSERV1 foi o cenário com menos desmatamento no
487 período da análise, com a área desmatada chegando a 654.513 ha em 2030, ou um
488 aumento de área de 75,6% sobre o cenário inicial em 2007.

489
490 No cenário CONSERV2 (com a reabertura da BR-319), a área acumulada desmatada
491 chegou a 775.888 ha em 2030, registrando aumento de 108,2% sobre a paisagem inicial
492 em 2007. Apesar de ser um cenário de conservação, o cenário CONSERV2, desmatou
493 17,7% a mais que o cenário BAU1. Em ambos os cenários de conservação houve um
494 aumento nas invasões sobre a Floresta Nacional (FLONA) do Jauaperi. Isto foi mais
495 intenso no cenário CONSERV2 indicando que a FLONA Jauaperi poderá servir como
496 “válvula de escape” caso haja implementação de outras unidades de conservação
497 propostas nos cenários CONSERV1 e CONSERV2. Dentro da área proposta para a
498 FLONA Jauaperi (que ainda não foi oficialmente implementada) foi verificado em
499 campo e a partir de imagens Landsat 5, sinais de invasões de terras. Atualmente,
500 passados quase 10 anos, continua ativa essa área de invasão (próximo à sede municipal
501 de São João da Baliza) e de demarcação ilegal de terras públicas e as áreas desmatadas
502 cresceram significativamente. Em ambos os cenários de conservação pode se observar
503 uma grande “saturação” pelo desmatamento. Isto pode ser verificado ao longo da BR –
504 174, no Projeto de Assentamento Dirigido (PAD) Anauá (próximo à sede municipal de
505 Rorainópolis), e ao longo da BR-210 e suas estradas vicinais próximas às sedes
506 municipais daquela região.



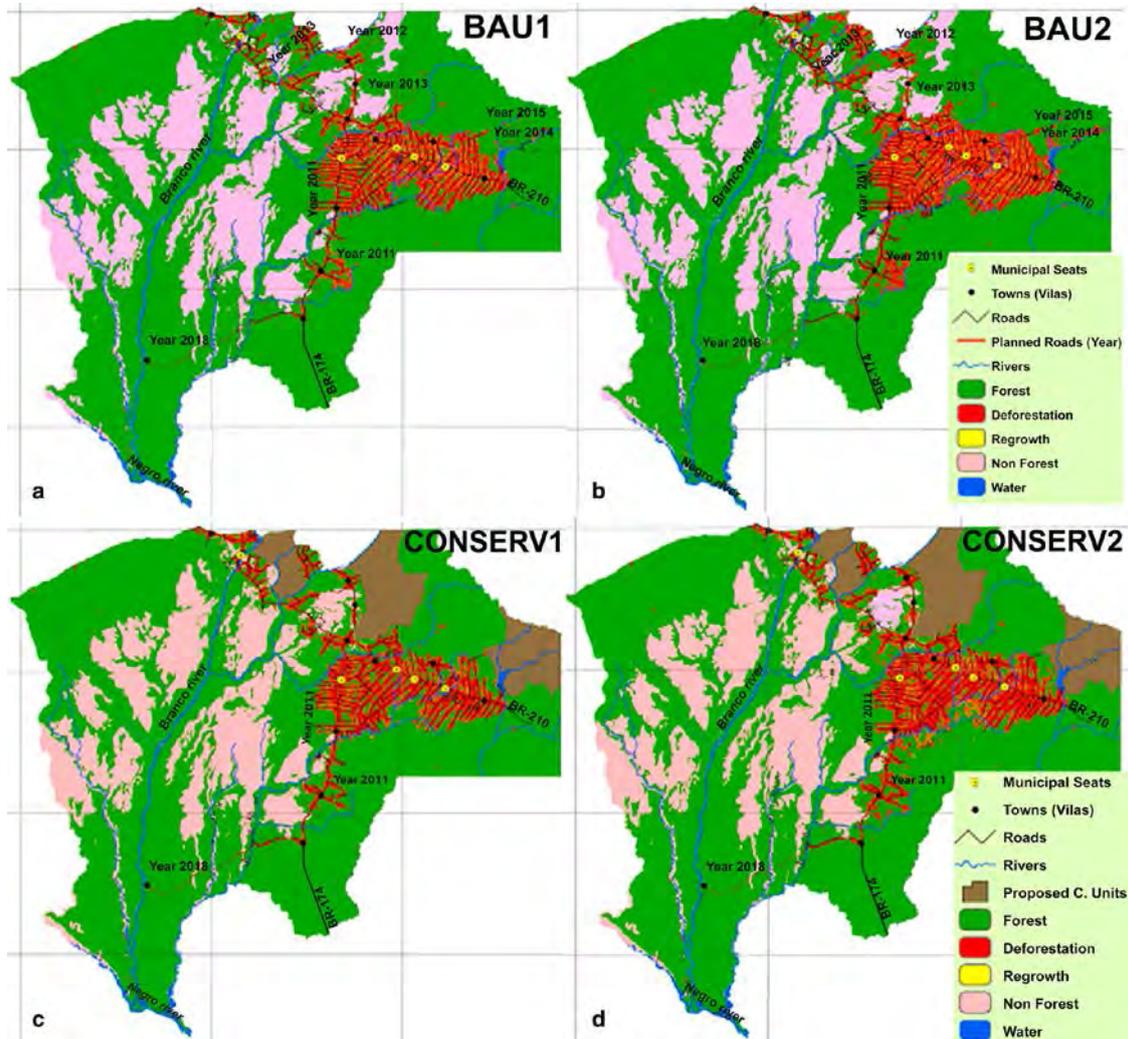
507
508 **Figura 4.** Desmatamento acumulado (em milhões de ha) sob os quatro cenários
509 simulados de 2007 a 2030 no sul do Estado de Roraima.

511 Efeito das estradas planejadas sobre o padrão de desmatamento nos cenários

512
513 Embora ambos os cenários de “negócios como sempre” (BAU1 e BAU2), usarem o
514 mesmo calendário para implementação das estradas planejadas para o futuro, no cenário
515 BAU2 (presumindo a BR-319) foi utilizado o fator de migração para simular um
516 aumento mais vigoroso do desmatamento depois de 2012. Assim, a forma e a
517 distribuição espacial do desmatamento nos dois cenários foram similares, diferenciando-
518 se apenas na intensidade (quantidade de área) de ocorrência do desmatamento. O
519 cenário BAU2 desmatou 38,4% a mais do que o BAU1 e o CONSERV2 desmatou
520 32,8% a mais do que o CONSERV1. O fato de que o CONSERV2 (com a BR-319)
521 desmatou 17,7% a mais do que o cenário BAU1 não significa que criar reservas é
522 ineficiente para frear o desmatamento na Amazônia. Ao contrário, reflete a severidade
523 do efeito de abrir uma estrada como a BR-319 em termos de desmatamento futuro em
524 uma região com baixa governança, como é o caso da região sul de Roraima (e.g.,
525 BARNI et al., 2012, 2017). Em geral, as estradas planejadas aceleraram o
526 desmatamento simulado nos dois cenários BAU, como tem sido observado na
527 Amazônia quando se constrói estradas (ESCADA & ALVES, 2001; NEPSTAD et al.,
528 2001; SOARES-FILHO et al., 2004, 2006). Estradas planejadas chegando a blocos de
529 florestas primárias ao norte da hidrelétrica de Jatapú (anos 2014 e 2015) em florestas
530 próximo ao rio Branco, no PA Caxias, no município de Caracaraí (anos 2012 e 2015)
531 aumentaram o desmatamento nesses locais. O mesmo efeito foi também verificado na
532 margem esquerda (sentido Boa Vista - Manaus) da rodovia BR-174 (2011) no PA
533 Equador (Figura 5a, b).

534
535 O efeito oposto, ou falha no acompanhamento do desmatamento com a abertura de
536 estradas foi observado ao longo de algumas estradas. Isso ocorreu no cenário BAU1
537 (sem a BR-319) ao longo da estrada planejada que penetraria no bloco da floresta ao
538 oeste da terra indígena Wai-Wai (2013), bem como no município de Caracarái e a oeste
539 do PAD Anauá (2013). Este efeito também ocorreu em ambos os cenários na estrada

540 que liga o rio Jauaperi a Santa Maria do Boiaçú (2018), no município de Rorainópolis.
 541 No caso das duas primeiras estradas, esse fato pode estar relacionado à proximidade de
 542 unidades de conservação, baixa qualidade do solo e pouco desmatamento prévio. Esses
 543 fatores diminuem a probabilidade de desmatamento nas simulações. Ao longo da
 544 estrada de acesso a Santa Maria do Boiaçú, que atravessa o rio Jauaperi, o baixo
 545 desmatamento pode ser explicado porque a área de floresta adjacente à estrada está
 546 sujeita a inundações sazonais provindas do rio Branco e seus afluentes.
 547



548 **Figura 5.** Cenários de desmatamento simulado de 2007 a 2030 no sul do Estado de Roraima:
 549 (a) cenário de linha de base (BAU1); (b) cenário BAU2; (c) cenário CONSERV 1 e (d)
 550 CONSERV2. Nos dois cenários BAU as estradas planejadas são indicadas pelos anos de
 551 implementação no modelo de simulação. Nos cenários de conservação as três unidades de
 552 conservação propostas são mostradas. Em nosso estudo, “non-forest” (não-floresta) se refere a
 553 áreas de campina, uma vegetação baixa ocorrente em áreas sazonalmente alagadas, de solos
 554 pobres e arenosos, em áreas de depleção do rio Branco.
 555

556 Os Processos de desmatamento

557 A probabilidade do desmatamento evoluir continuamente no sul de Roraima a taxas
 558 semelhantes às observadas atualmente sem a BR-319 é reforçada pela grande
 559 disponibilidade de áreas de florestas para desmatar. As invasões de terras públicas por
 560 posseiros e grandes latifundiários (grileiros), exploração madeireira ilegal, alta
 561

563 rotatividade de proprietários em projetos de assentamento e avanço generalizado de
564 pastagem sobre outras formas de uso da terra já estão presentes no sul de Roraima
565 (BARNI et al., 2012). São fatores que contribuem para o desmatamento e degradação
566 descontrolada da biodiversidade e dos serviços ambientais (FEARNSIDE, 2008,
567 SOARES-FILHO et al., 2004). Esses fatos, por si só, justificariam a criação de áreas de
568 proteção ambiental (FERREIRA et al., 2005; NEPSTAD et al., 2006; SOARES-FILHO
569 & DIETZSCH, 2008; SOARES-FILHO et al., 2010). Isso seria verdade mesmo sem a
570 reconstrução da BR-319, como mostrado no cenário CONSERV1 (sem a BR-319).

571

572 Considerando a origem de atores que poderiam chegar pela abertura da BR-319
573 (FEARNSIDE, 2008b; SOARES-FILHO et al., 2004), sua capacidade de destruir a
574 floresta é maior do que a da maior parte dos migrantes atraídos para Roraima no
575 passado recente (MOURÃO, 2003, 2011). Isso significa que os cenários simulados
576 podem ser considerados conservadores ao assumir uma contribuição per capita
577 constante para o desmatamento, conforme indicado por padrões históricos no sul de
578 Roraima. Acreditamos que o modelo foi adequado para representar o avanço do
579 desmatamento na área de estudo ao longo do período de nossa análise. Enfatizamos que
580 esta não é uma simples extrapolação das taxas de desmatamento, mas envolve vários
581 fatores subjacentes com diferentes níveis e escalas de contribuição ao desmatamento
582 (por exemplo, BRONDIZIO & MORAN, 2012, FOLEY et al., 2007, LUDEWIGS et
583 al., 2009). Reflete a presunção de existência de vários fatores que agem
584 simultaneamente nas decisões de atores, por exemplo, quanto desmatar anualmente,
585 onde desmatar (locais favoráveis em termos de fertilidade do solo, declividade, acesso,
586 etc.), quando desmatar (como influenciado pelo cronograma de construção de
587 infraestrutura rodoviária), corte de floresta secundária, manutenção de pastagens, etc.
588 Também presume movimentos migratórios (por exemplo, SOARES-FILHO et al.,
589 2004), simula políticas governamentais de contenção de desmatamento (criando
590 unidades de conservação) (por exemplo, YANAI et al., 2012) e a abertura de estradas
591 secundárias que influenciam diretamente essas taxas (por exemplo, FEARNSIDE et al.,
592 2009). O modelo incorpora uma ampla gama de determinantes de uso da terra e
593 reconhece que a distribuição espacial da população, a abertura das estradas e a mudança
594 do uso da terra são determinadas em conjunto e são apoiadas por um quadro econômico
595 (por exemplo, CAMPARI, 2005; CHOMITZ & GRAY, 1996).

596

597 Embora o curso preciso do futuro desmatamento em Roraima com a BR-319 seja
598 inerentemente incerto, as respostas migratórias induzidas pela construção de estradas
599 estão suficientemente documentadas empiricamente observando-se o passado histórico
600 da região amazônica. Ou seja, o desmatamento simulado nos cenários pelo modelo
601 poderá ocorrer na prática. Uma vez que o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) da BR-
602 319 se concentrou apenas nos possíveis impactos que fossem ocorrer ao longo da
603 estrada, sem presumir qualquer impacto em Roraima, nossos cenários oferecem uma
604 base muito melhor para a avaliação de custo / benefício do que o cenário oficial. Isso é
605 importante não apenas para uma decisão de construção de uma rodovia, mas também
606 para decisões sobre opções complementares para áreas protegidas.

607

608 Nesta abordagem, nossos resultados podem ser vistos em uma estrutura como a que há
609 muito cercou as metodologias de avaliação contingente para avaliar o valor ambiental:
610 ninguém argumenta que são perfeitos, mas muitos argumentam que são mais úteis do
611 que presumir um valor de zero. Em outras palavras, nossos cenários não devem ser
612 vistos como o que "acontecerá", mas, em vez disso, mostrando que "coisas assim podem

613 acontecer, mas estão sendo presumidas e, portanto, devem ser consideradas". Esse
614 enquadramento não é surpreendente para uma análise dinâmica considerando efeitos
615 indiretos, que são mais difíceis de estudar empiricamente do que as análises rigorosas
616 de impactos de alcance mais limitado. As análises rigorosamente limitantes podem
617 parecer "mais precisas", o que, de certo modo, é correto, mas, em um escopo maior, eles
618 podem realmente produzir menos informações (PFAFF & ROBALINO, 2012). Olhar
619 para frente para considerar quando o mundo não será como hoje é válido como um
620 subsídio para a formulação de políticas públicas mais realistas.

621

622 **Resistência das reservas à invasão**

623

624 O pressuposto do modelo é que as unidades de conservação efetivamente impedem o
625 desmatamento. Embora invasões de reservas ocorram de fato na Amazônia, acreditamos
626 que essa suposição é razoável para o período simulado. Um fator chave que justifica
627 uma hipótese de não desmatamento é que as reservas simuladas foram criadas sem
628 qualquer desmatamento prévio dentro de seus limites (por exemplo, SOARES-FILHO
629 et al., 2010; VITEL et al., 2009). Onde isso não é verdade, a probabilidade de
630 desmatamento é muito maior. Por exemplo, ocorreu algum desmatamento em nossa
631 simulação na Floresta Nacional (FLONA) de Jauaperi durante o período 2004-2007
632 (fase de calibração do modelo), porque havia desmatamento histórico anterior e, por
633 isso, ocorreu desmatamento dentro e ao redor desta unidade de conservação no período
634 da análise.

635

636 **Biomassa e emissões de carbono nos cenários simulados**

637

638 As emissões simuladas de carbono para a atmosfera no cenário BAU1 chegaram a $56,4$
639 $\times 10^6$ Mg em 2030 (Tabela 3). Sob o cenário BAU2 houve grande perda de carbono
640 chegando a $86,4 \times 10^6$ Mg acumulados ao final de 23 anos de simulação. Considerando
641 a regeneração da biomassa recobrando a paisagem em equilíbrio, esta perda bruta
642 correspondeu a uma emissão comprometida (FEARNSIDE, 1997) de $80,3 \times 10^6$ Mg de
643 carbono para a atmosfera.

644

645 A diferença de perda de carbono entre os cenários BAU1 e BAU2, representando o
646 efeito da reconstrução da BR-319, totalizou $23,9 \times 10^6$ Mg de carbono em 23 anos
647 simulados. Isto equivale a aproximadamente cinco anos de emissões de carbono pela
648 grande São Paulo em 2003 (COOPE, 2005) e a aproximadamente duas vezes as
649 emissões de carbono da grande São Paulo hoje.

650

651 O cenário CONSERV1 apresentou o menor desmatamento até 2030, com uma emissão
652 de $46,0 \times 10^6$ Mg de carbono. CONSERV2 emitiu $67,2 \times 10^6$ Mg de carbono, ou 19,1%
653 a mais do que BAU1 (sem a BR-319) em 2030. BAU2 emitiu $80,3 \times 10^6$ Mg de
654 carbono.

655

656

657 **Tabela 3.** Estimativa de biomassa florestal e emissões de carbono em 2030.

| Cenário | Área desmatada acumulada (ha) | Crescimento 2007 / 2030 (ha) | % | Biomassa florestal (10 ⁶ Mg) | Carbono florestal (10 ⁶ Mg) | Carbono absorvido (10 ⁶ Mg) | Emissões líquidas (10 ⁶ Mg) |
|----------|-------------------------------|------------------------------|-------|---|--|--|--|
| BAU1 | 715.250 | 342.612 | 91,9 | 126,7 | 61,5 | 5,1 | 56,4 |
| CONSERV1 | 654.513 | 281.876 | 75,6 | 104,1 | 50,5 | 4,5 | 46,0 |
| BAU2 | 858.639 | 486.001 | 130,4 | 178,2 | 86,4 | 6,1 | 80,3 |
| CONSERV2 | 775.888 | 403.25 | 108,2 | 149,7 | 72,6 | 5,4 | 67,2 |

658

659 **Outras Fontes de Emissão**

660

661 Nosso estudo apenas modelou o desmatamento, além de perda de pequenas áreas de
 662 vegetação não florestal presentes na área, e a emissão líquida associada à perda de
 663 biomassa. Incluir outras fontes de emissão aumentaria o impacto total atribuído à
 664 abertura da rodovia BR-319 e aumentaria os benefícios da criação de áreas protegidas,
 665 mas não alteraria nossos resultados globais. A liberação de carbono do solo em áreas de
 666 solo exposto aumentaria as emissões em proporção direta ao desmatamento. A
 667 conversão da floresta amazônica em pastagens de gado sob manejo normal libera uma
 668 média de 7,5 MgC ha⁻¹ nos 20 cm superiores de solo, mais 5,6 MgC ha⁻¹ da camada de
 669 20-100 cm e 0,6 MgC ha⁻¹ na camada que vai de 1- 8 m de profundidade (FEARNSIDE
 670 & BARBOSA, 1998). A liberação de carbono de camadas mais profundas do solo só
 671 ocorre durante um longo período de tempo.

672

673 Este artigo considera apenas as emissões de carbono (ou seja, carbono como CO₂). O
 674 desmatamento não só emite carbono como CO₂, mas também gases traço como CH₄ e
 675 N₂O. Incluir gases traço aumentaria o impacto no aquecimento global das emissões
 676 comprometidas líquidas do desmatamento em 11,5% por um período de 100 anos e
 677 26,3% por um período de 20 anos (mais relevante para evitar um "perigoso" aumento de
 678 2° C da temperatura global). Essas porcentagens (atualizadas de FEARNside, 2000)
 679 consideram os fatores médios de emissão para a combustão de Andreae & Merlet
 680 (2001) e os potenciais de aquecimento global (com feedbacks) do relatório de 5°
 681 avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (MYHRE et al., 2013,
 682 p. 714).

683

684 **Desmatamento atual na região sul de Roraima: “erros e acertos” da modelagem**

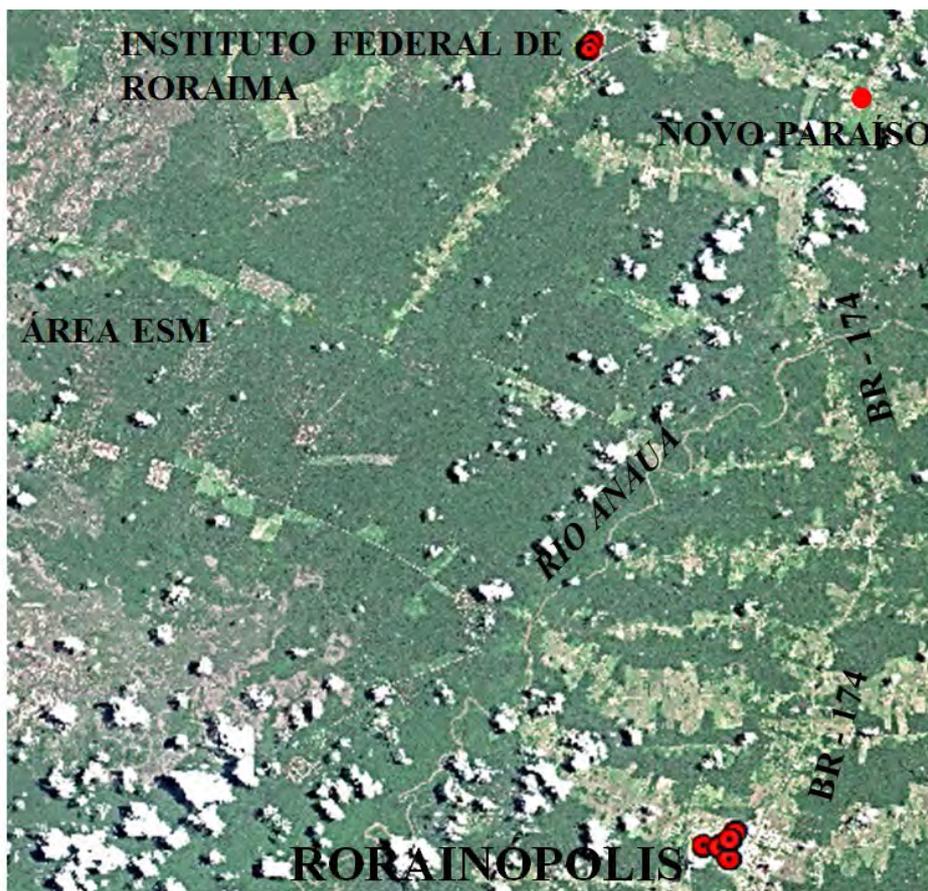
685

686 Estamos no início do ano de 2018 e a rodovia BR-319 ainda não foi asfaltada. Faltam
 687 pelo menos 400 km para a conclusão do trecho de mais de 800 km entre as duas
 688 capitais. No início do ano de 2017 a empresa União Cascavel reabriu uma linha de
 689 ônibus saindo de Manaus (AM) e indo até Porto Velho (RO). Esse fato “inviabiliza” o
 690 nosso estudo de cenários? Acreditamos que não, em absoluto. No intervalo entre 2008 a
 691 2016 considerando o desmatamento (BRASIL, INPE, 2018) absoluto dos cinco
 692 municípios que compõem a região sul de Roraima chegou-se ao montante de 699,8 km²
 693 (69.980 ha). Este valor foi apenas 5,3% (239,7 km²) inferior ao desmatamento simulado
 694 (938,5 km² ou 93.850 ha) pelo cenário de linha de base BAU1 (sem a BR-319). Os
 695 principais “acertos” na previsão do desmatamento neste período pelo cenário BAU1 foi
 696 o desmatamento observado atualmente nas proximidades da FLONA Jauaperí, próximo
 697 a sede municipal de São João da Baliza, na vicinal 07 de Caroebe, no PA Sucurijú e PA

698 Equador, no município de Rorainópolis, e também no PA Caxias, no município de
699 Caracaraí. No caso do PA Sucurijú (localizado adjacente à FLONA Anauá), o
700 desmatamento real se mostrou mais danoso ao meio ambiente e à biodiversidade do que
701 o desmatamento simulado. Este PA foi criado em 2008 com argumento de se tornar um
702 PA modelo, livre de desmatamento. Mas, nove anos após a sua criação o que ocorreu
703 foi justamente o contrário. Na verdade, esse PA foi criado para satisfazer o setor
704 madeireiro local que transferiu suas indústrias itinerantes (ver BARNI et al., 2012) para
705 a Vila Nova Colina, localidade a 40 km ao sul da sede municipal de Rorainópolis e as
706 margens da BR-174 e a apenas 20 km do PA Sucurijú e outros blocos intactos de
707 florestas nas fundiárias das estradas vicinais daquela redondeza. O desmatamento e a
708 extração predatória de madeira foi tão intensa nesse período no PA que, em 2016, toda a
709 floresta remanescente incendiou-se por fogo de sub-bosque (BARNI et al., 2017).

710

711 No entanto deve-se registrar um “erro” por não termos previsto no modelo a abertura de
712 estradas endógenas, feitas por madeireiros, penetrando um imenso bloco de florestas
713 intactas no setor sul de Caracaraí próximo à localidade de Novo Paraíso e à sede
714 municipal de Rorainópolis (Figura 6). Esse bloco de floresta, riquíssimo em
715 massaranduba (*Manilkara huberi*) e angelim pedra (*Dinizia excelsa* Ducke), as duas
716 principais espécies exploradas pelo setor madeireiro local, apesar de ser localizado a
717 poucos quilômetros a oeste da sede municipal de Rorainópolis, é acessível apenas por
718 estradas partindo do município de Caracaraí. Este fato é explicado pela presença do rio
719 Anauá que faz divisa entre os dois municípios. Este projeto foi criado para grandes e
720 médios proprietários de terras, com lotes variando entre 500 e 1.000 ha cada. A maior
721 parte dos terrenos pertence aos comerciantes de Rorainópolis e proprietários de
722 pequenas madeireiras locais. A madeira é liberada para colheita florestal pela Fundação
723 Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (FEMARH) mediante apresentação
724 pelo proprietário do terreno de um projeto para corte raso com o objetivo de
725 implantação de pastagens.



726
727 **Figura 6.** Imagem Sentinel-2 de 03/09/2017 (USGS 2018) da área de Extração Seletiva
728 de Mamadeira (ESM) a oeste da sede municipal d Rorainópolis.
729

730 **Conclusões**

731
732 A reconstrução da rodovia BR-319 aumentaria o desmatamento na parte sul do Estado
733 de Roraima, uma localização muito além da própria rodovia BR-319. Pelos resultados
734 apresentados pelo modelo, estimamos que o desmatamento aumentaria entre 18 e 42%
735 até 2030 com a reconstrução da BR-319. As emissões de carbono simuladas
736 aumentariam em porcentagem semelhante, entre 19 e 42%. Em condições de modelo
737 "negócios como sempre" (BAU2), a abertura da BR-319 implica em um aumento nas
738 emissões ao longo de uma simulação de 23 anos totalizando 23,9 milhões de toneladas
739 de carbono. Para efeito de comparação, isso representa aproximadamente dois anos de
740 emissão de carbono pela grande São Paulo hoje.

741
742 Nosso estudo mostrou que a reconstrução da BR-319, que liga Manaus a Porto Velho,
743 pode ter impactos ambientais muito além da sua área oficial de influência. Seus efeitos
744 podem se irradiar para o sul do Estado de Roraima, que já é acessado por estradas
745 existentes desde Manaus. Esses impactos devem ser considerados na tomada de decisão
746 no projeto de recuperação da BR-319. As medidas de mitigação que poderiam reduzir
747 esses impactos incluem a criação de unidades de conservação em Roraima nas áreas
748 mais vulneráveis ao desmatamento, caso a BR-319 for reconstruída.

749 **Agradecimentos**

750
751

752 Agadecemos por apoio financeiro o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico
753 e Tecnológico (CNPq) (proc. 557152/2005-4, 474548/2006-6; 305880/2007-1), a
754 Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), a rede GEOMA
755 e o Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). G.C. Carrero ajudou nas
756 atividades de campo. Este capítulo é traduzido e atualizado de um artigo originalmente
757 publicado na revista *Environmental Management* (BARNI et al., 2015).

758

759 **Referências**

760

761 ALMEIDA, C. A.; VALERIANO, D. M.; ESCADA, M. I. S.; RENNÓ, C. D.
762 Estimativa de área de vegetação secundária na Amazônia Legal brasileira. **Acta**
763 **Amazonica**, v. 40, p. 289–302, 2010.

764 -x.

765

766 ANDREAE, M. O.; MERLET, P. Emissions of trace gases and aerosols from biomass
767 burning. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 15, p. 955–966. 2001.

768

769 BARBOSA, R. I.; FEARNSIDE, P. M. Above-ground biomass and the fate of carbon
770 after burning in the savannas of Roraima, Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and**
771 **Management**, v. 216, p. 295–316. 2005.

772

773 BARBOSA, R. I.; FERREIRA, C. A. C. Biomassa acima do solo de um ecossistema de
774 “campina” em Roraima, norte da Amazônia Brasileira. **Acta Amazonica**, v. 34, p.
775 577–586. 2004.

776

777 BARBOSA, R. I.; PINTO, F. S.; SOUZA, C. C. Desmatamento em Roraima: dados
778 históricos e distribuição espaço-temporal. **Relatório Técnico**. Ministério da Ciência e
779 Tecnologia, Núcleo de Pesquisas de Roraima, Instituto Nacional de Pesquisas da
780 Amazônia (INPA), Boa Vista, RR, Brasil. p 10, 2008. Disponível em:
781 http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:http://agroeco.inpa.gov.br/reinado/RIBarbosa_ProdCient_Usu_Visitantes/2008Desmatamento_RR_1978_2006.pdf.
782 Acessado em: 21 jan. 2018.

783

784 BARNI, P. E.; FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. Desmatamento no Sul do
785 Estado de Roraima: padrões de distribuição em função de projetos de assentamento do
786 INCRA e da distância das principais rodovias (BR-174 e BR-210). **Acta Amazonica**, v.
787 42, p. 195–204, 2012.

788

789 BARNI, P. E.; FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. Simulating deforestation and
790 carbon loss in Amazonia: impacts in Brazil's Roraima state from reconstructing
791 Highway BR-319 (Manaus-Porto Velho). **Environmental Management**, v. 55, n. 2, p.
792 259-278. 2015. doi:10.1007/s00267-014-0408-6.

793

794 BARNI, P. E.; MANZI, A. O.; CONDÉ, T. M.; BARBOSA, R. I.; FEARNSIDE, P. M.
795 Spatial distribution of forest biomass in Brazil's state of Roraima, northern Amazonia.
796 **Forest Ecology and Management**, v. 377, p. 170–181. 2016.

797

798 BARNI, P. E.; SILVA, E. B. R.; SILVA, F. C. F. Incêndios florestais de sub-bosque na
799 zona de florestas úmidas do sul de Roraima: área atingida e biomassa morta. In: XVIII
800 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. 2017. Santos-SP. **Anais**
801

- 802 **eletrônicos**. Disponível em: <<https://proceedings.galoa.com.br/sbsr>>. Acesso em: 25
803 Set de 2017.
- 804
- 805 BARRETO, P., PEREIRA, R., ARIMA, E. A pecuária e o desmatamento na Amazônia
806 na era das mudanças climáticas. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
807 (IMAZON), Belém, Pará, Brasil. 2008. 40 p.
808 <[http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/a-pecuaria-eo-desmatamento-na-](http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/a-pecuaria-eo-desmatamento-na-amazonia-na-era-das/at_download/file)
809 [amazonia-na-era-das/at_download/file](http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/a-pecuaria-eo-desmatamento-na-amazonia-na-era-das/at_download/file)>. Acesso em: 18 Set 2012
- 810
- 811 BRASIL, INCRA. Diretoria de Obtenção de Terras e Implantação de Projetos de
812 Assentamento–DT. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA),
813 Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), Brasília, DF, Brasil. 2007.
- 814
- 815 BRASIL, INPE Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite. Instituto
816 Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, Brasil, 2018.
817 Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: 10 Jan. 2018.
- 818
- 819 BRASIL, PROJETO RADAMBASIL **Levantamento dos Recursos Naturais** (Folhas
820 SA.20 Manaus; SA.21 Santarém; SB.19 Juruá; SB.20 Purus; SC.19 Rio Branco; SC.20
821 Porto Velho). Ministério das Minas e Energia, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1973–1983.
- 822
- 823 BRASIL, SIPAM. Sistema de Proteção da Amazônia. Sistema de Proteção da
824 Amazônia (SIPAM), Manaus, AM, Brasil. 2008. <http://www.sipam.gov.br/>. Acesso em:
825 18 Set 2012
- 826
- 827 BRONDIZIO, E. S.; MORAN, E. F. Level-dependent deforestation trajectories in the
828 Brazilian Amazon from 1970 to 2001. **Population and Environment**, v. 34, p. 69–85.
829 2012. doi:10.1007/s11111-011-0159-8
- 830
- 831 BRUNER, A. G.; GULLISON, R. E.; RICE, R. E.; da FONSECA, G. A. B. 2001.
832 Effectiveness of Parks in Protecting Tropical Biodiversity. **Science**, v. 291, p. 125-128.
- 833
- 834 CAMPARI, J. The economics of deforestation in the Amazon: dispelling myths.
835 Edward Elgar, Northampton, Reino Unido. 2005.
- 836
- 837 CARREIRAS, J. M. B.; JONES, J.; LUCAS, R. M.; GABRIEL, C. Land Use and Land
838 Cover Change Dynamics across the Brazilian Amazon: Insights from Extensive Time-
839 Series Analysis of Remote Sensing Data. **PLoS ONE**, v. 9, n. 8, e104144, 2014.
840 doi:10.1371/journal.pone.0104144.
- 841
- 842 CHOMITZ, K. M.; GRAY, D. A. Roads, land use, and deforestation: A spatial model
843 applied to Belize. **World Bank Economic Review**, v. 10, n. 3, p. 487–512. 1996.
844 <http://siteresources.worldbank.org/DEC/Resources/gray.pdf> Acesso em: 21 Set 2014
- 845
- 846 COPPE - Programas de Pós-Graduação de Engenharia (COPPE). Inventário de
847 emissões de gases de efeito estufa do município de São Paulo: síntese. Prefeitura de São
848 Paulo, Centro de Estudos Integrados sobre Meio Ambiente e Mudanças Climáticas, Rio
849 de Janeiro, RJ, Brasil, 2005. Disponível em:
850 <[http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/sintesedoinventario_125079](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/sintesedoinventario_1250796710.pdf)
851 [6710.pdf](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/sintesedoinventario_1250796710.pdf)>. Acesso em: 27 Set. 2014.

- 852
853 ESCADA, M. I. S.; ALVES, D. S. Mudanças de uso e cobertura do solo na Amazônia:
854 Impactos sócio-ambientais na ocupação de regiões de fronteira agrícola. **Relatório**
855 **Técnico Parcial**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: Programa de Ciência e
856 Tecnologia para Gestão de Ecossistemas. São Paulo, SP, Brasil, 45 p, 2001.
- 857
858 FEARNSIDE, P. M. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in
859 vegetation replacing Brazil's Amazon forest. **Forest Ecology and Management**, v. 80
860 p. 21–34. 1996. doi:10.1016/0378-1127(95)03647-4.
- 861
862 FEARNSIDE, P. M. Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: net
863 committed emissions. **Climatic Change**, v. 35, p. 321–360. 1997.
864 doi:10.1023/A:1005336724350.
- 865
866 FEARNSIDE, P. M. Global warming and tropical land-use change: greenhouse gas
867 emissions from biomass burning, decomposition and soils in forest conversion, shifting
868 cultivation and secondary vegetation. **Climatic Change**, v. 46, p. 115–158. 2000.
869 doi:10.1023/A:1005569915357
- 870
871 FEARNSIDE, P. M. Amazon Forest maintenance as a source of environmental services.
872 Rio de Janeiro. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 80, n. 1, p. 101-114.
873 2008a. doi: 10.1590/S0001-37652008000100006.
- 874
875 FEARNSIDE, P.M. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian
876 Amazonia. *Ecology and Society* 13 (1): 23. 2008b.
877 <<http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss1/art23/>>
- 878
879 FEARNSIDE, P. M. **A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais**. 2ª Ed. Instituto
880 Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, AM. Brasil. 134 p. 2009.
- 881
882 FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. Soil carbon changes from conversion of forest
883 to pasture in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 108, p. 147–
884 166. 1998. doi:10.1016/S0378-1127(98)00222-9
- 885
886 FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A.; KEIZER, E. W. H.; MALDONADO, F. D.;
887 BARBOSA, R. I.; NOGUEIRA, E.M. Modelagem de desmatamento e emissões de
888 gases de efeito estufa na região sob influência da Rodovia Manaus-Porto Velho (BR-
889 319). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, p. 208–233. 2009.
- 890
891 FERRAZ, S. F. B.; VETTORAZZI, C. A.; THEOBALD, D. M.; BALLESTER, M. V.
892 R. Landscape dynamics of Amazonian deforestation between 1984 and 2002 in central
893 Rondônia, Brazil: assessment and future scenarios. **Forest Ecology and Management**,
894 v. 204, p. 69–85. 2005.
- 895
896 FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E. M. Áreas protegidas como estratégia para
897 conter o desflorestamento na Amazônia brasileira. In: **Anais da 59ª Reunião Anual da**
898 **SBPC** - Belém, PA - Julho/2007. Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência
899 (SBPC), São Paulo, SP, Brasil, 2007. Disponível em:
900 <<http://www.sbpcnet.org.br/livro/59ra/pdf/leandro2.pdf>>. Acesso em: 18 Set. 2012.
901

- 902 FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; de ALMEIDA, S. S. O Desmatamento na
903 Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 1–
904 10. 2005.
- 905
- 906 FOLEY, J. A.; ASNER, G. P.; COSTA, M. H.; COE, M. T. C.; DEFRIES, R.; GIBBS,
907 H. K.; HOWARD, E. A.; OLSON, S.; PATZ, J.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P.
908 Amazonia revealed: Forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the
909 Amazon Basin. **Frontiers in Ecology and Environment**, v. 5, p. 25–32. 2007.
910 <http://water.columbia.edu/files/2011/11/DeFries2007Amazonia.pdf>. Acesso em: 18 Out
911 2013
- 912
- 913 GREENPEACE. **A Farra do Boi na Amazônia**. Greenpeace-Brasil, São Paulo, SP,
914 Brasil. 43 p. 2009.
915 <http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2009/6/FARRAweb-alterada.pdf>
916
- 917 HAGEN, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps.
918 **International Journal of Geographical Information Science**, v. 17, p. 235–249.
919 2003.
- 920
- 921 HOUGHTON, R. A.; HALL, F.; GOETZ, S. J. Importance of biomass in the global
922 carbon cycle. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, G00E03. 2009.
- 923
- 924 LUDEWIGS, T.; D'ANTONA, A; BRONDÍZIO, E. S.; HETRICK, S. Agrarian
925 structure and land use change along the lifespan of three colonization areas in the
926 Brazilian Amazon. **World Development**, v. 37, p. 1348–1359. 2009.
927 doi:10.1016/j.worlddev.2008.08.018
- 928
- 929 MARTINS, F. S. R. V.; XAUD, H. A. M.; SANTOS, J. R.; GALVÃO, L. S. Effects of
930 fire on above-ground forest biomass in the northern Brazilian Amazon. **Journal of**
931 **Tropical Ecology**, v. 28, p. 591–601, 2012. doi:10.1017/S0266467412000636.
- 932
- 933 MAZZOTI, F. J.; VINCI, J. J. Validation, verification, and calibration Using
934 standardized terminology when describing ecological models. **IFAS Extension**,
935 University of Florida, Gainesville, Florida, E.U.A, 2007. Disponível em:
936 <<http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/UW/UW25600.pdf>>. Acesso em: 19 Out. 2013.
937
- 938 MOURÃO, G. M. N. **Colonización reciente y asentamientos rurales en el sureste de**
939 **Roraima, Amazonia Brasileña: entre la política y la naturaleza**. Universidad de
940 Valladolid, Valladolid, Espanha. Tese de doutorado, 2003. 480 p.
- 941
- 942 MOURÃO, G. M. N. El sureste de Roraima: De un marco natural muy contrastado a unos
943 grandes asentamientos rurales. **Revista Geográfica de América Central**, Número Especial
944 EGAL, p. 1-15, 2011. Disponível em:
945 <<http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/viewFile/2412/2308>>. Acesso em:
946 23 jan. 2018)
- 947
- 948 MYHRE, G. et al. Anthropogenic and natural radiative forcing. In: STOCKER, T. F.;
949 QIN, D.; PLATTNER, G.-K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S. K.; BOSCHUNG, J.;
950 NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P. M. (Eds). **Climate Change 2013: The**
951 **Physical Science Basis**. Working group I contribution to the IPCC fifth assessment

- 952 report. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 661–740. 2013.
953 <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>>
954
- 955 NEEFF, T.; LUCAS, R. M.; dos SANTOS, J. R.; BRONDÍZIO, E. S.; FREITAS, C. C.
956 Area and age of secondary forests in Brazilian Amazonia 1978–2002: an empirical
957 estimate. **Ecosystems**, v. 9, p. 609–623. 2006.
958
- 959 NEPSTAD, D. C.; CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A.;
960 CAPOBIANCO, J. P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, B.; SILVA Jr, U.
961 L.; PRINS, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests.
962 **Forest Ecology and Management**, v. 154, p. 395–407. 2001.
963
- 964 NEPSTAD, D. C.; SCHARTZMAN, S.; BAMBERGER, B.; SANTILLI, M.; RAY, D.;
965 SCHLESINGER, P.; LEFEBVRE, R.; ALENCAR, A.; PRINZ, E.; FISKE, G.;
966 ROLLA, A. Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands.
967 **Conservation Biology**, v. 20, n. 1, p. 65–73. 2006.
968
- 969 NOGUEIRA, E. M. Densidade de madeira, forma de fuste e desenvolvimento de
970 modelo alométrico para estimativa de biomassa em florestas abertas no arco do
971 desmatamento da Amazônia brasileira. Tese de doutorado, Curso de Pós-Graduação em
972 Ciências Florestais Tropicais do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
973 (INPA)/Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Manaus, AM, Brasil. 2008.
974 <<http://bdtd.inpa.gov.br/handle/tede/1190>>
975
- 976 NOGUEIRA, E. M.; FEARNside, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R.I.;
977 KEIZER, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New
978 allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest**
979 **Ecology and Management**, v. 256, p. 1853–1857. 2008.
980
- 981 PFAFF, A.; ROBALINO, J. Protecting forests, biodiversity and the climate: predicting
982 policy impact to improve policy choice. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 28, p.
983 164–179. 2012.
984
- 985 RAMANKUTTY, N.; GIBBS, H. K.; ACHARD, F.; DE FRIES, R.; FOLEY, J. A.;
986 HOUGHTON, R. A. Challenges to estimating carbon emissions from tropical
987 deforestation. **Global Change Biology**, n. 13, p. 51–66, 2007.
988
- 989 SILVA, R. P. **Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e**
990 **secundárias na região de Manaus (AM)**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
991 (INPA) & Fundação Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Manaus, Amazonas,
992 Brasil. Tese de doutorado. 2007. 152 p.
993
- 994 SOARES-FILHO, B. S.; DIETZSCH, L. Reduction of carbon emissions associated with
995 deforestation in Brazil: the role of Amazon region Protected Areas Program (ARPA).
996 Brasília, DF, Brasil. **Worldwide Fund for Nature (WWF)**, 32 p. 2008.
997
- 998 SOARES-FILHO, B. S.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D. C.; CERQUEIRA, G.; DIAZ,
999 M. C. V.; RIVERO, S.; SOLORZANOS, L.; VOLL, E. Simulating the response of land-
1000 cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the
1001 Santarém-Cuiabá corridor. **Global Change Biology**, v. 10, p. 745–764. 2004.

- 1002
1003 SOARES-FILHO, B. S.; NEPSTAD, D. C.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G. C.;
1004 GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.;
1005 SCHLESINGER, P. Modelling conservation in the Amazon Basin. **Nature**, v. 440, p.
1006 520–523. 2006.
- 1007
1008 SOARES-FILHO, B. S.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D. C.; ANDERSON, A.;
1009 RODRIGUES, H.; GARCIA, R.; DIETZSCH, L.; MERRY, F.; BOWMAN, M.; HISS,
1010 L.; SILVESTRINI, R.; MARETTI, C. Role of Brazilian Amazon protected areas in
1011 climate change mitigation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the**
1012 **USA**, v. 107, p. 10.821–10.826, 2010. doi:10.1073/pnas.0913048107.
- 1013
1014 VITEL, C. S. M. N. **Modelagem da dinâmica do Desmatamento de uma Fronteira**
1015 **em Expansão, Lábrea, Amazonas**. Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de
1016 Pesquisas da Amazônia (INPA), Fundação Universidade Federal do Amazonas
1017 (UFAM), Manaus, AM, Brasil. 2009. 121 p.
- 1018
1019 XAUD, H. A. M.; MARTINS, F. S. R. V.; DOS SANTOS, J. R. Tropical forest
1020 degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and**
1021 **Management**, v. 294, p. 97–106. 2013.
- 1022
1023 YANAI, A. M.; FEARNside, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A.; NOGUEIRA, E. M.
1024 Avoided deforestation in Brazilian Amazonia: simulating the effect of the Juma
1025 Sustainable Development Reserve. **Forest Ecology and Management**, v. 282, p. 78–
1026 91. 2012. doi:10.1016/j.foreco.2012.06.029