

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

Desmatamento evitado na Amazônia Brasileira: Simulação do efeito da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma

Please cite the original article:
Favor citar o trabalho original:

Yanai, A.M.; P.M. Fearnside, P.M.L.A. Graça & E.M. Nogueira. 2012. Avoided deforestation in Brazilian Amazonia: Simulating the effect of the Juma Sustainable Development Reserve. *Forest Ecology and Management* 282: 78-91. doi: 10.1016/j.foreco.2012.06.029

Preprint disponível em: <http://philip.inpa.gov.br>

Desmatamento evitado na Amazônia Brasileira: Simulação do efeito da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma

Aurora Miho Yanai^a, Philip Martin Fearnside^a, Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça^a; Euler Melo Nogueira^a

^a Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Av. André Araújo, N° 2936, CEP 69060-000, Manaus, Amazonas, Brasil.

Tel.: +55 92 3643 1822; fax: +55 92 3642 8909.

E-mail: {yanai, pmfearn, pmlag, euler}@inpa.gov.br

RESUMO

A Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma, localizada no estado do Amazonas, foi a primeira área protegida no Brasil a ser beneficiada com um projeto de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD). Entretanto, os benefícios de carbono de projetos de REDD podem ser comprometidos pelo vazamento, ou seja, o deslocamento do desmatamento para fora dos limites da reserva. Através de técnicas de modelagem ambiental é possível simular cenários que representem mudanças de uso e cobertura da terra e assim avaliar as possíveis trajetórias e magnitudes do desmatamento. O objetivo deste estudo foi avaliar a efetividade da reserva do Juma em reduzir o desmatamento e estimar as emissões de carbono projetadas até 2050. Os cenários simulados foram: 1) cenário linha de base, sem a criação da reserva do Juma; 2) cenário com vazamento (CV) onde a criação da reserva ocasionaria um deslocamento espacial no desmatamento e 3) cenário com vazamento reduzido (CVR), onde a quantidade do desmatamento resultante do vazamento é reduzida. Considerando a área de estudo total (reserva do Juma + *buffer* de 120 km) haveria uma redução de 16,0% (14.695 km²) na cobertura florestal até 2050 no cenário linha de base, 15,9% (14.647 km²) no CV e 15,4% (14.219 km²) no CVR em relação ao que havia em 2008. A redução de cobertura florestal dentro da reserva do Juma até 2050 seria de 18,9% (1.052 km²) no cenário linha de base e de 7,1% (395 km²) no CV e CVR. A partir dos cenários simulados, foi estimada uma redução do estoque de carbono na área total de 1,63 Pg C (Pg = 10¹⁵ g = 1 bilhão de toneladas) em 2008 para 1,37 Pg C em 2050 no cenário linha de base e no CV e de 1,38 Pg C no CVR. Na área da reserva do Juma, o estoque de carbono seria reduzido de 0,10 Pg C em 2008 para 0,08 Pg C em 2050 (linha de base) ou 0,09 Pg C (CV e CVR). A reserva do Juma foi eficaz na redução de emissão de carbono até 2050, mas esta redução foi substancialmente menor do que a calculada no projeto REDD do Juma. O vazamento deve ser contabilizado nos projetos de REDD, pois o desmatamento resultante deste efeito pode gerar “ar quente” (crédito de carbono sem adicionalidade). Ao longo do tempo, os benefícios da reserva serão maiores e as perdas por vazamento serão recuperadas.

Palavras-chave: REDD, mudança de cobertura da terra, modelagem, vazamento, áreas protegidas, emissões de carbono.

1. Introdução

50 As emissões globais de gases do efeito estufa associadas à queima de combustíveis
51 fósseis e mudanças no uso da terra já atingiram 9 Pg C.ano⁻¹ (IPCC, 2007) (1 Pg = 10¹⁵
52 g = 1 bilhão de toneladas). Emissões por mudanças de uso da terra representam 10-12%
53 (van der Wert et al., 2009) a 17% (IPCC, 2007) das emissões antropogênicas globais.
54 No Brasil, 77% (0,34 Pg C) das emissões de carbono em 2005 foram atribuídas ao setor
55 de mudanças de uso da terra e florestas (MCT, 2010).

56 Na Amazônia brasileira, historicamente o desmatamento esteve concentrado no “arco
57 do desmatamento” na região sul e leste da floresta, mas recentemente tem avançado
58 para o sul do estado do Amazonas (Becker, 2005; INPE, 2010). Neste sentido, uma das
59 estratégias implementadas para conter o desmatamento nessa região é a criação de áreas
60 protegidas. Essas áreas, além de frear o desmatamento (Ferreira et al., 2005; Nepstad et
61 al., 2006) exercem um papel fundamental na prestação de serviços ambientais
62 relacionados à manutenção da biodiversidade, ciclagem de água e armazenamento de
63 carbono (Fearnside, 2008a; Wunder et al., 2008).

64 A criação e gestão de áreas protegidas na Amazônia têm um custo elevado
65 (IDESAM, 2009). Em razão disto, mecanismos financeiros têm sido promovidos para
66 obter recursos para a conservação das florestas tropicais, tais como, projetos de Redução
67 de Emissões por Desmatamento e Degradação (REDD) (Nepstad et al., 2007; Stickler et
68 al., 2009). Mecanismos de REDD são temas de controvérsias consideráveis no que diz
69 respeito à efetividade, impacto social e econômico e o lugar que ocupa na mitigação do
70 aquecimento global (ver revisões feitas por Angelson, 2008; Moutinho et al., 2011;
71 Fearnside, 2011, 2012). Os governos federal e estadual consideram o REDD um
72 importante instrumento de combate ao desmatamento e de valoração da floresta tropical
73 quanto aos seus serviços ambientais, mitigando desse modo as mudanças climáticas
74 (SDS, 2008). O projeto REDD da reserva do Juma foi desenvolvido e validado em 2008
75 e foi o primeiro projeto de desmatamento evitado no Brasil. O carbono estocado na
76 floresta que está ameaçado pelo desmatamento e a degradação são recompensados
77 através do pagamento às comunidades locais para conservar a floresta (Ghazoul et al.,
78 2010). A abordagem utilizada pelo projeto REDD do Juma para justificar os benefícios
79 do carbono foi baseada na linha de base projetada através do uso de modelos. A
80 “adicionalidade” ou a redução de emissões em relação ao que poderia ocorrer na
81 ausência do projeto é estabelecida através da comparação de resultados monitorados
82 com a linha de base hipotética, a qual é representada pela projeção do desmatamento e
83 emissão de gases de efeito estufa em um cenário sem o projeto. Dependendo da
84 abordagem e dos pressupostos considerados no modelo de simulação, linhas de base
85 projetadas podem ser mais altas ou mais baixas do que as linhas de base que
86 simplesmente extrapolam o desmatamento histórico (Fearnside, 2011; Parker et al.,
87 2009). Há uma preocupação de que projetos de REDD resultem apenas no
88 deslocamento do desmatamento para fora dos limites do projeto, ou seja, o vazamento
89 (Wunder et al., 2008). Isto inclui tanto o vazamento “dentro para fora” (onde os atores
90 se deslocam para áreas fora da reserva) como também vazamento “fora para fora” (onde
91 novos atores migrando para se estabelecerem em áreas de floresta na região são
92 desviados para regiões fora da reserva) (Fearnside, 2009). É importante que este efeito
93 seja mensurado para avaliar o nível de susceptibilidade do projeto e para assegurar se a
94 adicionalidade e permanência do projeto são reais. A credibilidade e viabilidade de um
95 projeto de REDD podem ser seriamente comprometidas por fatores como projeção do
96 desmatamento do cenário linha de base mal dimensionado e ausência da quantificação
97 do efeito de vazamento.

98 As taxas de desmatamento na Amazônia Brasileira têm oscilado substancialmente ao
99 longo do tempo e entre locais e regiões (e.g., Fearnside, 2005, 2008a). Entre 2004 e

100 2011 a taxa total do desmatamento reduziu pela metade. A maior parte desta queda foi
101 em áreas de agricultura e pecuária “consolidadas”, tais como, no estado do Mato
102 Grosso, enquanto que esta redução é menor em áreas de “fronteira” que abrange a maior
103 parte da área deste estudo. A redução do desmatamento no período de 2004 a 2008 foi
104 particularmente associada ao preço internacional de exportação de *commodities*, tais
105 como, a soja e a carne, e com a taxa de câmbio entre o Real brasileiro e outras moedas –
106 o valor do real dobrou em relação ao dólar americano entre 2002 e 2007 e manteve
107 valores acima deste nível até meados de 2012, fazendo com que as exportações das
108 *commodities* da Amazônia fossem menos rentáveis e desencorajando o desmatamento.
109 Depois de 2008 a economia começou a se recuperar, mas as taxas de desmatamento
110 continuaram a declinar, presumivelmente refletindo um aumento nas medidas de
111 comando e controle (Hargrave e Kis-Katos, 2011; Assunção et al., 2012). Investimentos
112 em fiscalização estão correlacionados com a redução do desmatamento nos municípios
113 durante este período (Barreto et al., 2011).

114 O presente estudo foi realizado com o intuito de (1) avaliar o efeito da criação da
115 reserva do Juma sobre o desmatamento e (2) estimar as emissões de carbono nos
116 cenários simulados com e sem a reserva no período de 42 anos de 2008 a 2050. Três
117 cenários foram simulados usando o arcabouço (*framework*) do modelo AGROECO
118 desenvolvido por Fearnside et al. (2009a): Cenário linha de base representando o que
119 poderia acontecer nos próximos anos se a reserva do Juma não fosse criada; Cenário
120 com vazamento (CV) que considera a criação da reserva do Juma e o efeito do
121 vazamento decorrente de sua presença; Cenário com vazamento reduzido (CVR) que
122 considera a criação da reserva e uma diminuição do efeito do vazamento projetado
123 devido à presença da reserva.

124 O propósito deste estudo é contribuir para o aperfeiçoamento da atual metodologia
125 utilizada nos projetos REDD no estado do Amazonas e avaliar o efeito das áreas
126 protegidas na redução do desmatamento em áreas sob pressão antrópica.

127

128 2. Métodos

129

130 2.1. Área de estudo

131

132 A reserva do Juma foi criada pelo decreto nº 26.009 de julho de 2006 abrangendo
133 uma área de 589.611,3 ha no município de Novo Aripuanã, na porção sul do estado do
134 Amazonas (SDS, 2010). Este estudo compreendeu os limites da reserva e a sua área de
135 entorno (*buffer* de 120 km), totalizando uma área de 9.742.624,8 ha (Fig.1). O objetivo
136 do *buffer* foi incluir na simulação os municípios circunvizinhos (Apuí e Manicoré) e as
137 rodovias (AM-174 e trechos da BR-319 e BR-230), que influenciam o processo de
138 ocupação na região da reserva do Juma. Nesta área há também áreas protegidas (07
139 Terras Indígenas, 01 reserva de Proteção Integral e 04 reservas de Uso Sustentável) e
140 comunidades que habitam dentro e no entorno da reserva, distribuídas próximas às
141 margens dos rios e das estradas. Estas famílias fazem uso direto dos recursos naturais da
142 reserva (SDS, 2010).

143

144 [Fig. 1 aqui]

145

146 No interior da reserva do Juma a cobertura florestal está bem conservada e o
147 desmatamento na reserva concentra-se principalmente ao longo da rodovia AM-174
148 onde ocorrem atividades de extração ilegal de madeira e agricultura familiar pelas
149 comunidades locais (IDESAM, 2009). Outras atividades como a mineração, pecuária e a

150 pesca predatória também têm contribuído para a perda dos recursos naturais da reserva.
 151 O desmatamento acumulado até 2009 na reserva do Juma totalizou 68,3 km², ou seja,
 152 1,2% da área total da reserva (INPE, 2010).

153

154 2.2. Etapas da metodologia

155

156 A metodologia está dividida nas etapas descritas na Fig. 2. O modelo espacial do
 157 desmatamento AGROECO foi usado para a construção dos cenários (Fearnside et al.,
 158 2009a) (Fig. S1). Este modelo foi desenvolvido usando o programa DINAMICA EGO
 159 (Rodrigues et al., 2007; Soares-Filho et al., 2009).

160

161 [Fig. 2 aqui]

162

163 Os modelos desenvolvidos no DINAMICA EGO são baseados em autômatos
 164 celulares, que consiste nos seguintes elementos: célula (*pixel*), estado, vizinhança e
 165 regras de transição (Jacob et al., 2008). A transição de uma célula, de um estado para
 166 outro é influenciado pelo estado das células vizinhas (Yeh e Li, 2006). Todas as células
 167 são atualizadas simultaneamente a cada passo discreto de tempo (Sirakoulis et al.,
 168 2000).

169 A resolução espacial utilizada foi 250m, portanto, cada célula tinha uma área de 6,25
 170 ha. A projeção cartográfica aplicada foi a UTM (Universal Transversa de Mercator)
 171 correspondendo a Zona UTM 20 Sul e Datum WGS 1984

172

173 2.3. Elaboração dos dados de entrada

174

175 As variáveis de entrada do modelo consistiram de mapas de uso e cobertura da
 176 terra, mapa de variáveis estáticas, mapa de atratividade, mapa de fricção, mapa de
 177 estradas atuais e planejadas (Tabela 1, Fig. S2) e dos coeficientes dos pesos de
 178 evidência.

179

180 [Tabela 1 aqui]

181

182 2.3.1. Pesos de Evidência e Cálculo do Mapa de Probabilidade de Transição

183 O método estatístico dos “pesos de evidência” determina a probabilidade de ocorrer
 184 um evento dado um ou mais fatores de evidência (Bonham-Carter et al., 1989). Essas
 185 probabilidades são usadas no modelo com a intenção de determinar a probabilidade de
 186 uma célula mudar de um estado para outro dado uma evidência. As transições
 187 consideradas foram:

188

- 188 ▪ **Desmatamento:** Floresta → Desmatamento

189

- 189 ▪ **Regeneração:** Desmatamento → Vegetação secundária

190

- 190 ▪ **Corte da vegetação secundária:** Vegetação secundária → Desmatamento.

191

192 Os termos “desmatamento” e “corte da vegetação secundária” diferem quando se
 193 referem ao processo de transição, mas quanto ao valor da célula, não há distinção entre
 194 as classes “desmatamento” e “corte da vegetação secundária”. Os fatores considerados
 195 como evidência neste estudo foram os mapas de variáveis estáticas e os mapas de
 196 cobertura da terra e estradas. Assim, a cada iteração o modelo calcula e atualiza o mapa
 197 de probabilidade de transição. Esse mapa indica as áreas mais favoráveis para cada tipo
 198 de transição com base no método bayesiano de pesos de evidência (Soares-Filho et al.,
 2002, 2009).

199 No modelo AGROECO, a transição vegetação secundária → floresta também foi
200 considerada. Essa transição é feita automaticamente no modelo através de um contador
201 de permanência de células de vegetação secundária. Células que permaneceram intactas
202 por 30 iterações (anos) foram automaticamente transformadas em floresta. Para esta
203 transição, não foi necessário utilizar pesos de evidência ou taxas de transição.

204 O pressuposto do método dos pesos de evidência é que os padrões de predição são
205 condicionalmente independentes (Bonham-Carter et al., 1989). O DINAMICA EGO
206 permite testar essa presunção de independência usando um “functor” ou subrotina, que
207 determina a correlação dos pesos de evidência. Esse functor usa o teste pareado para o
208 mapa categórico, tal como, o coeficiente de Cramer, coeficiente de contingência e
209 Incerteza da Informação Conjunta. Índices com valores abaixo de 0,5 são considerados
210 adequados para representar independência (Agterberg e Bonham-Carter, 2005). Assim,
211 nós testamos a correlação entre os pares de mapa usando o modelo disponível no
212 tutorial do programa DINAMICA EGO (mais informações no material suplementar).

213

214 *2.4. Cálculo das taxas de transição*

215

216 As taxas de transição representam a proporção de células que serão transformadas de
217 uma classe para outra, de acordo com transições previamente estabelecidas. Assim, é
218 necessário multiplicar a taxa pelo número de células de uma dada classe para calcular a
219 quantidade de mudança em termos de número de células (taxa bruta). Neste sentido, a
220 taxa de desmatamento de um ano “t” é multiplicada pela extensão de floresta
221 remanescente para um ano “t-1”. Com isso, obtém-se a área a ser desmatada no ano “t”
222 expresso pelo número de células de floresta que será transformada em desmatamento.

223 O AGROECO usa o conceito de “superfície de floresta fundiária” (SFF), que
224 representa uma faixa de 2 km de cada lado da estrada. Essa faixa, procedente do termo
225 “área fundiária” é usada para descrever a percepção de pequenos proprietários
226 assentados ao longo de rodovia, visto que eles têm o direito de reivindicar a terra
227 desocupada atrás de suas propriedades. Essa percepção não tem bases legais, mas
228 influencia o comportamento (Fearnside et al., 2009a). A área (ha) de “SFF” e de
229 “floresta fora da SFF” são atualizadas a cada iteração de acordo com o incremento de
230 estradas e desmatamento no modelo.

231

232 *2.4.1. Taxa de desmatamento*

233 As taxas de desmatamento (proporção) foram calculadas através da transferência
234 simultânea de dados entre o DINAMICA EGO e Vensim. O DINAMICA EGO repassa
235 ao Vensim um mapa categórico com as seguintes classes: floresta, estradas,
236 desmatamento, vegetação secundária e SFF. O Vensim, por sua vez, calcula as taxas de
237 desmatamento usando a equação da Tabela 2. Essa equação foi desenvolvida usando
238 dados de desmatamento, floresta e SFF dos mapas de 2003 e 2008 (Tabela S1).
239 Primeiramente foi calculada a razão entre a área média desmatada por ano (2003 e
240 2008) e a área de floresta na SFF. O valor de 0,02333 foi obtido deste cálculo. Este
241 valor indica que 2,33% da floresta foram desmatadas dentro da SFF neste intervalo de
242 tempo. O cálculo da área de floresta fora da SFF foi feito do mesmo modo, obtendo-se
243 um valor de 0,00023604.

244

245 [Tabela 2 aqui]

246

247 *2.4.2. Taxa de regeneração e corte da vegetação secundária*

248 As taxas de regeneração e corte da vegetação secundária foram constantes (Tabela 2).
249 Isso foi necessário devido à falta de parâmetros e dados para elaboração de uma
250 equação específica para ser utilizada no cálculo dessas taxas. A taxa de corte da
251 vegetação secundária foi estimada com base nos mapas de cobertura da terra de 2003 e
252 2008. A partir do cruzamento desses mapas, obteve-se a área total de corte da vegetação
253 secundária para o período de cinco anos. Esse valor foi posteriormente dividido pela
254 área de vegetação secundária total (2003) e calculado a média da área de corte da
255 vegetação por ano.

256 A taxa de regeneração foi estimada de modo semelhante. Através do cruzamento dos
257 mapas de 2003 e 2008 foi obtida a área média regenerada por ano para o intervalo de
258 cinco anos. Esse valor foi posteriormente dividido pelo valor médio da área desmatada
259 que estava presente no mesmo intervalo de tempo.

260

261 2.4.3. Taxa de vazamento do desmatamento

262 Neste estudo, o vazamento ocorreu devido à criação da reserva do Juma; assim, parte
263 do desmatamento que ocorreu dentro da reserva no cenário linha de base foi distribuído
264 para outras áreas fora do seu limite no CV. A estimativa da taxa de vazamento foi
265 obtida a partir da diferença entre o linha de base e CV de 2050 na área da reserva do
266 Juma. Esse valor então dividido pelo número total de iterações a fim de estimar o
267 número de células deslocadas por ano. Diante disso, as taxas de desmatamento sem o
268 efeito do vazamento foram calculadas por meio da equação da “taxa sem vazamento”
269 (Tabela 2).

270 “Células de corte da floresta (CV)_{ano}” é o número total de células de floresta
271 desmatada num dado ano no cenário com vazamento, “Células vazadas_{ano}” é o número
272 de células que foram desmatadas dentro da reserva do Juma no linha de base e que
273 foram deslocadas para fora da reserva no cenário com vazamento, e “Células de floresta
274 (CV)_{ano}” é o número de células de floresta remanescente num dado ano no cenário com
275 vazamento. Esse valor foi somado ao número de células vazadas para obter a estimativa
276 da floresta remanescente total sem vazamento numa dada iteração. Devido à dificuldade
277 de inserir valores estimados anuais, nós optamos por usar uma taxa média de vazamento
278 reduzido. Essa taxa foi calculada pela diferença entre a média aritmética de taxas
279 simuladas no CV e de taxas calculadas de vazamento reduzido. A taxa resultante
280 (0,000156) foi inserida no cálculo de forma que este valor foi subtraído da taxa
281 simulada de desmatamento a cada ano (Tabela 2).

282 A taxa de vazamento para regeneração não foi calculada; pois, a formação de
283 vegetação secundária está correlacionada com a área desmatada. Espera-se que, com a
284 redução da área desmatada, haja uma redução na área ocupada pela vegetação
285 secundária. Essa redução na área de vegetação secundária, por sua vez, ocasionaria uma
286 redução no corte da vegetação secundária.

287

288 2.5. Funções de transição (*expander* e *patcher*)

289

290 As funções de transição determinam como as manchas serão alocadas na paisagem de
291 acordo com as áreas e o número de mudanças previamente determinadas pelo modelo.
292 O *expander* age exclusivamente na expansão de manchas prévias de uma dada classe de
293 cobertura da terra. O *patcher* é responsável pela formação de novas manchas através de
294 mecanismo de sementeira. Esse processo ocorre quando *patcher* seleciona a célula
295 núcleo da nova mancha e então o número específico de células é determinado ao redor
296 da célula núcleo (Soares-Filho et al., 2002).

297 O modelo divide o número de células a serem modificadas entre as duas funções de
298 transição. Neste caso, foi estabelecido que 30% das células da transição floresta →
299 desmatamento seriam aplicadas na função *expand* e o restante 70% na função *patcher*.
300 Esses valores foram definidos durante o processo de calibração. Diferentes valores das
301 funções de *patcher* e *expand* foram testados para comparar os resultados do padrão
302 espacial de mudança. Os valores que visualmente indicaram o melhor ajuste com o
303 padrão espacial real do desmatamento foram 30% (*expand*) e 70% (*patcher*). Apesar
304 da maior parte das manchas serem formadas pela função *patcher*, essas manchas são
305 geralmente alocadas próximas a áreas previamente desmatadas e próximas a estradas.

306

307 2.6. Calibração e validação do modelo

308

309 O ajuste dos parâmetros do modelo foi feito no período de 2003-2008. Nesta etapa, o
310 coeficiente dos pesos de evidência e as taxas de transição foram ajustados a fim de obter
311 uma adequação entre o mapa simulado e o mapa de referência (real). Após a etapa de
312 calibração foi feita a validação do modelo. A validação tem o intuito de avaliar se o
313 modelo usado é consistente de acordo com a aplicação pretendida (Rykiel, 1996).

314 O DINAMICA EGO utiliza o teste *fuzzy* para a comparação similaridade, que é uma
315 modificação do método desenvolvido por Hagen (2003). Esse método considera a
316 localização de uma mudança dentro de uma vizinhança da célula central. Assim,
317 dependendo do tamanho da janela da célula que representa a vizinhança da célula
318 central, a similaridade entre os mapas (real e simulado) pode variar de 0% a 100%, onde
319 0% de similaridade indica que os dois mapas são completamente diferentes e 100%
320 indica que eles são idênticos (Soares-Filho et al., 2009; Walker et al., 2010).

321 O resultado do ajuste espacial obtido usando a similaridade de múltiplas janelas foi
322 de 57,1% para o tamanho de janela padrão (5×5 células). Essa porcentagem aumenta
323 conforme o aumento da janela, chegando a 73,8% para um tamanho de janela 11x11
324 (Fig. S3). Esse método avalia somente o ajuste espacial do modelo. Para verificar o
325 ajuste de acordo com a quantidade de mudança, a comparação foi feita entre o número
326 de células do mapa de cobertura da terra simulado e real. O percentual de erro para cada
327 classe de uso foi de 0,14% (floresta), 4,74% (desmatamento) e 1,33% (vegetação
328 secundária) (Tabela S2).

329

330 2.7. Análise da efetividade da reserva do Juma

331

332 Os cenários simulados com a reserva do Juma (CV e CVR) foram usados para
333 analisar o avanço do desmatamento dentro e fora da reserva. A análise baseou-se no
334 mapa produzido a cada iteração no modelo. Esse mapa foi cruzado com a máscara da
335 reserva do Juma. Isso fez com que somente a área da reserva fosse visível, sendo a área
336 restante (área do *buffer*) mascarada, assim, o desmatamento dentro da reserva do Juma
337 pôde ser quantificado.

338 A quantificação do desmatamento na área de entorno da reserva foi feita por meio do
339 cruzamento entre o mapa de cobertura da terra simulado e o *buffer* (10 km). Deste
340 procedimento, obteve-se o número de células de cada classe (floresta, desmatamento e
341 vegetação secundária) na área de entorno da reserva do Juma. O cruzamento foi feito
342 para os 42 mapas simulados no CV e CVR. Os dados foram posteriormente tabulados, e
343 a razão entre o número de células de desmatamento na área do *buffer* e dentro da reserva
344 foi calculada para cada ano. Isso permitiu estimar o quão eficaz foi a reserva do Juma
345 em conter o avanço do desmatamento até 2050. Para avaliar a influência da reserva do
346 Juma na área ao longo da rodovia AM-174, foi usado um *buffer* de 10 km da rodovia

347 (somente no trecho que corta a reserva). Posteriormente, os mapas simulados de
348 cobertura da terra foram cruzados com o *buffer* para analisar a evolução do
349 desmatamento ao longo da rodovia. Essa análise foi feita para todos os mapas simulados
350 nos três cenários. Desta forma, foi possível avaliar o avanço do desmatamento na área
351 ao longo da rodovia com e sem a presença da reserva do Juma.

352

353 2.8. Estimativas de biomassa e emissão de carbono

354

355 As estimativas de biomassa média seca pesadas acima e abaixo do solo para
356 cada tipo de floresta foram baseadas em Nogueira et al. (2008). As estimativas para as
357 vegetações não-florestais foram baseadas em Fearnside et al. (2009b) e Olson (1983).
358 As estimativas do estoque inicial de biomassa foram feitas a partir do cruzamento do
359 mapa de vegetação original e o mapa de floresta remanescente de 2008. A partir deste
360 procedimento, a área de floresta remanescente (ha) foi obtida para cada tipo de
361 vegetação. Essa área foi então multiplicada pela biomassa média (por ha)
362 correspondente ao tipo de vegetação. O estoque de carbono foi obtido assumindo que 1
363 ton (Megagrama = Mg) de biomassa seca contém 0,485 Mg C (Silva, 2007). Para
364 estimar a emissão de carbono a partir do corte da floresta a cada ano, o cruzamento
365 entre o mapa de cobertura da terra “t” e “t+1” foi feito, obtendo-se o número de células
366 de floresta que foram desmatadas de um ano para outro. O mapa resultante de células
367 desmatadas foi cruzado com o mapa de vegetação para identificar a biomassa média e o
368 estoque de carbono das áreas desmatadas. Esse procedimento, assim como, os descritos
369 posteriormente foi feito para os três cenários simulados neste estudo.

370 2.8.1. Emissão pelo corte da vegetação secundária

371 A metodologia usada para estimar o carbono e as emissões pelo corte da vegetação
372 secundária foi baseada em Fearnside e Guimarães (1996). Essa abordagem foi escolhida
373 (1) devido à ausência de estudos específicos de biomassa da vegetação secundária para
374 a porção sul do estado do Amazonas e (2) devido à atividade principal nesta região ser a
375 pecuária, similar ao uso da terra nas áreas de Paragominas e Altamira, Pará, estudado
376 por Fearnside e Guimarães (1996). Assim, parte significativa da vegetação secundária
377 formada e cortada seria derivada de pastos abandonados.

378 No presente estudo, as estimativas de emissão de carbono provenientes do corte da
379 vegetação secundária basearam-se na biomassa média (acima e abaixo do solo) de
380 vegetação secundária com cinco anos de idade estimada por Fearnside e Guimarães
381 (1996). Cinco anos representa o tempo para metade da vegetação secundária de um
382 dado ano ser cortada baseado em estimativas de Almeida et al. (2010), sendo que a
383 metade da vida da vegetação secundária na Amazônia é 4,89 anos.

384 A média aritmética da biomassa em Paragominas e Altamira ($49,2 \text{ Mg ha}^{-1}$) foi
385 multiplicada pela área (ha) da vegetação secundária cortada por ano e, posteriormente,
386 esse valor foi multiplicado pelo carbono contido na vegetação secundária (0,45)
387 estimado por Silva (2007). Assim, obteve-se a estimativa da emissão líquida anual por
388 corte da vegetação secundária.

389 2.8.2. Absorção de carbono pela vegetação secundária

390 Para fins de cálculo de emissão líquida, a absorção de carbono pela vegetação
391 secundária foi determinada pela taxa de crescimento desta vegetação derivada de
392 Fearnside e Guimarães (1996). Presumiu-se que o padrão da estrutura etária da
393 vegetação secundária de Paragominas e Altamira poderia ser aplicado no nosso estudo.

394 A taxa de crescimento da biomassa total (acima e abaixo do solo) obtido ($8,40 \text{ Mg ha}^{-1}$
395 ano^{-1}) foi multiplicado pela área total (ha) da vegetação secundária num dado ano e,
396 posteriormente, esse valor foi multiplicado pelo carbono contido na vegetação
397 secundária (0,45) estimado por Silva (2007). Assim, a estimativa de absorção anual pela
398 vegetação secundária na paisagem foi obtida.

399

400 *2.8.3. Absorções e emissões de carbono herdadas*

401 Os cálculos de emissões herdadas são necessários, pois a contabilização de
402 emissões de carbono por corte da floresta foi feita somente a partir de 2009 (o primeiro
403 ano da simulação) e as estimativas de absorção de carbono pela vegetação secundária
404 considerou a área total desta vegetação presente em 2009. Portanto, parte da vegetação
405 secundária mapeada em 2008 que permaneceu em outros anos também foi incluída, e o
406 crescimento desta vegetação secundária representa uma absorção herdada. Assim, tanto
407 a absorção quanto a emissão herdada precisam ser estimadas para prevenir um viés nos
408 cálculos de emissões líquidas.

409 As emissões herdadas foram calculadas a partir dos dados de desmatamento do
410 PRODES (1997, 2003 e 2008) e a partir da biomassa média da floresta (acima e abaixo
411 do solo) baseado em Nogueira et al. (2008).

412 Os cálculos basearam-se em estudos feitos por Fearnside (2002, 2003a), que
413 usou um cenário de três requeimas ao longo de um período de 10 anos, considerando
414 que o pasto é normalmente requeimado no intervalo de 2-3 anos a fim de impedir o
415 estabelecimento de plantas invasoras. Neste cenário, o percentual de carbono emitido
416 pode ser consideravelmente alto. Por isso foi necessário para ajustar os valores de
417 biomassa perdida pelo efeito de requeimas. Essa biomassa foi multiplicada pelo carbono
418 contido na floresta primária (0,485). O valor da emissão herdada obtido foi adicionado
419 às outras fontes de emissão provenientes do corte da floresta e corte da vegetação
420 secundária.

421

422 *2.8.4. Cálculo do balanço anual de emissões líquidas*

423 As estimativas de emissões líquidas anuais foram obtidas pela diferença entre as
424 fontes de emissão, isto é, a soma de emissões a partir do corte da floresta, corte da
425 vegetação secundária e emissões herdadas do desmatamento de anos anteriores, menos
426 o sumidouro, proveniente da absorção pela vegetação secundária.

427

428 **3. Resultados**

429

430 *3.1. Simulação do desmatamento*

431

432 De modo geral, os resultados da simulação nos três cenários para a área total de
433 estudo foram similares (Fig.3). A redução na cobertura da floresta na área total de
434 estudo (reserva do Juma + *Buffer* de 120 km) foi de 16,0% (linha de base), 15,9% (CV)
435 e 15,4% (CVR), em relação aos valores de 2008. A similaridade nos resultados da linha
436 de base e CV indica que o desmatamento evitado na área da reserva do Juma no CV foi

437 deslocado para outras áreas de floresta. No CVR houve uma redução no desmatamento
438 de 3,2% em relação ao linha de base e de 2,9% em relação ao CV (Tabela S3).

439

440 [Fig. 3 aqui]

441

442 Entretanto, quando somente a área da reserva do Juma é considerada, o cenário linha
443 de base projetou uma redução de 18,9% na cobertura florestal em comparação a 2008,
444 enquanto no cenário com a presença da reserva (CV e CVR) essa redução foi de 7,1%.
445 Quando os cenários são comparados, verifica-se que na ausência da reserva do Juma
446 haveria uma redução de 62,5% na cobertura florestal em comparação aos cenários com
447 a reserva (Tabela S4).

448 Comparando o desmatamento acumulado no mapa inicial (2008) com o mapa
449 simulado final (2050), na área total de estudo, o desmatamento teve um aumento de
450 533,0% (linha de base), 531,5% (CV) e de 516,1% (CVR). Considerando somente a
451 área da reserva do Juma, esse acréscimo atinge 1.419,3% (linha de base), 551,2% (CV)
452 e de 555,0% (CVR). A área de vegetação secundária na área total de estudo, teve um
453 acréscimo de 414,7% (linha de base), 410,9% (CV) e de 397,7% (CVR). Na área da
454 reserva do Juma, esses valores foram de 5.729,7% (linha de base), 1.627,0% (CV) e
455 1.500,0% (CVR) (Tabela S3 e Tabela S4).

456 O desmatamento médio anual na área total de estudo foi similar em todos os
457 cenários: 349,9 km² (linha de base), 348,7 km² (CV) e de 338,5 km² (CVR). Na reserva
458 do Juma, aproximadamente 25,1 km² da cobertura florestal foram desmatadas por ano
459 no cenário linha de base e 9,4 km² no CV e CVR. A área média anual regenerada na
460 área total foi de 106,9 km² (linha de base), 105,5 km² (CV) e de 102,8 km² (CVR).
461 Somente para a reserva do Juma, a área regenerada anualmente foi em média, 9,6 km²
462 (linha de base), 2,2 km² (CV) e 2,1 km² (CVR). A regeneração no CVR e CV foi menor
463 em comparação ao cenário linha de base devido à área desmatada nesses cenários ser
464 menor.

465 Na área total de estudo 80,5 km² da vegetação secundária foi cortada anualmente
466 no cenário linha de base, 79,3 km² no CV e 77,4 km² no CVR. Na reserva do Juma, a
467 média da área de vegetação secundária cortada anualmente foi de 6,4 km² no linha de
468 base e de 1,2 km² no CV e CVR. É importante ressaltar que a área regenerada
469 anualmente foi superior à área de vegetação secundária cortada. Isto se deve ao fato que
470 não há distinção no modelo entre o valor da célula de desmatamento que é derivado do
471 corte da floresta daquele decorrente do corte da vegetação secundária.

472 O percentual médio de células de vegetação secundária que permaneceram
473 intactas na área total por 30 iterações e, posteriormente foram transformadas em células
474 de floresta depois desse período foi de 7,2% (22,2 km²) no linha de base, 7,6% (23,2
475 km²) no CV e de 7,4% (22,4 km²) no CVR. Na reserva do Juma, esses valores foram de
476 4,8% (0,6 km²) no linha de base, 25,9% (1,9 km²) no CV e 20,3% (1,8 km²) no CVR.

477 Com a presença da reserva do Juma houve uma redução no desmatamento e no
478 corte da vegetação secundária. Assim, a maior parte da vegetação secundária que estava
479 presente dentro da reserva no início da simulação permaneceu inalterada através do

480 tempo, resultando numa área regenerada maior no CV e CVR em comparação ao
481 cenário linha de base.

482

483 3.2. *Avaliação do efeito de vazamento nos cenários projetados*

484

485 A partir da comparação entre o número de células entre os mapas (2050) no cenário
486 linha de base e CV, o número correspondente de células de vazamento para cada classe
487 foi estimado. Assim, num possível cenário sem vazamento, o número de células de
488 floresta, desmatamento e vegetação secundário no interior da reserva do Juma seria o
489 mesmo que no CV. Por sua vez, na área externa (excluindo a reserva do Juma), o
490 número de células de cada classe deveria ser o mesmo que no linha de base. Baseada
491 nesta informação o percentual de vazamento do desmatamento foi de 92,7% no CV e de
492 27,6% no CVR. Assim, a simulação no CVR teve uma redução de 65,1% (6.852
493 células) no vazamento em relação ao que foi simulado no CV (Tabela S5).

494

495 3.3. *Quantificação do desmatamento dentro e no entorno da reserva do Juma*

496

497 Os cenários demonstraram que até 2050 o desmatamento acumulado na área de
498 entorno da reserva do Juma foi 2,0 (CV) e 2,1 (CVR) vezes maior do que dentro da
499 reserva. Devido à área desmatada ser maior na área de entorno da reserva, a formação
500 da vegetação secundária também foi maior. A proporção de área ocupada pela
501 vegetação secundária foi 4,0 (CV) e 4,4 (CVR) vezes maior na área de entorno do que
502 dentro da reserva (Fig. 4a e b). A proporção de área ocupada pelas estradas projetadas
503 pelo modelo no entorno da reserva foi de 2,5 (CV) e 2,6 (CVR) vezes maior em
504 comparação a área interna da reserva (Fig. 4c). Nesta área, a maior parte do
505 desmatamento estava ao longo da rodovia AM-174.

506

507 [Fig. 4 aqui]

508

509 Os resultados da simulação também indicaram que a presença da reserva do
510 Juma inibiu o desmatamento na área ao longo da AM-174 numa faixa de 10 km de cada
511 lado da estrada. Entretanto, essa inibição ocorreu somente no trecho da rodovia dentro
512 da reserva. Ao longo do período de 42 anos houve uma redução na cobertura florestal de
513 42,5% (581,4 km²) no cenário linha de base, 24,3% (332,8 km²) no CV e de 25,6%
514 (350,6 km²) no CVR. Além disso, detectou-se uma redução no número de estradas
515 secundárias projetadas pelo modelo quando comparado ao cenário linha de base: 39,7%
516 (31,1 km²) para o CV e 34,0% (26,6 km²) para o CVR.

517

518 3.4. *Estimativas de emissões de carbono e estoques nos cenários simulados*

519

520 O estoque de carbono presente em 2008 na área total de estudo foi estimado em
521 1,63 Pg C; considerando somente a reserva do Juma, este estoque foi estimado em 0,10
522 Pg C. O estoque inicial (2008) estimado para a área total de estudo teve uma redução de
523 15,7% (0,26 Pg C) no linha de base e no CV e de 15,2% (0,25 PgC) no CVR. Na área

524 da reserva do Juma as reduções do estoque inicial foram estimadas em 18,6% (0,02 Pg
525 C) na linha de base e de 7,1% (0,01 Pg C) no CV e CVR (Fig. 5).

526

527 [Fig. 5 aqui]

528

529 A Fig. 6 indica a estimativa de emissão líquida para a área total e a reserva do
530 Juma. Comparando a linha de base e o CVR houve uma redução de 3,3% ($8,5 \times 10^6$ Mg
531 C) nas emissões de carbono. Para o CV e CVR essa redução foi de 2,9% ($7,3 \times 10^6$ Mg
532 C). Se considerar somente a reserva do Juma, a criação da reserva reduziu as emissões
533 de carbono em 61,8% ($11,6 \times 10^6$ Mg C) até 2050.

534

535 [Fig. 6 aqui]

536

537 4. Discussão

538

539 4.4. Projeções do cenário linha de base

540

541 A projeção do cenário linha de base até 2050 demonstrou que o desmatamento
542 na reserva do Juma não avançará a tal ponto de comprometer completamente a
543 cobertura florestal da reserva. Isso pode ser justificado pelo fato de que a maior parte do
544 desmatamento simulado foi alocada em áreas onde já havia uma intensa atividade
545 antrópica, tais como, próxima ao município de Apuí e áreas próximas a rodovia BR-230
546 (Graça et al., 2007). De acordo com o modelo, essas áreas são consideradas mais
547 atrativas ao desmatamento. Portanto, já havia uma tendência histórica que favorecia o
548 desmatamento nessa região, principalmente devido à pressão proveniente da expansão
549 da agricultura e pecuária (Cepal, 2007; Carrero e Fearnside, 2011; Cenamo et al., 2011).
550 Além disso, o crescimento populacional no município de Novo Aripuanã é moderado,
551 sendo que os principais usos da terra estão relacionados com a agricultura de
552 subsistência, atividades de extrativismo florestal e pesca. O desmatamento para a
553 abertura de pastagem ocorre próximo ao município de Apuí e ao projeto de
554 assentamento Acari, o qual está relacionado à população de Apuí (Cenamo et al., 2011).

555 O cenário linha de base do presente estudo demonstrou que até 2050 haveria
556 uma redução de 18,9% ($1.052,4 \text{ km}^2$) na cobertura florestal da reserva do Juma. Esse
557 resultado difere substancialmente do cenário linha de base usado pelo projeto REDD do
558 Juma (IDESAM, 2009), o qual baseia-se no cenário *business as usual* (BAU) simulado
559 por Soares-Filho et al. (2006) para a Bacia Amazônica (Fig. 7). O modelo desenvolvido
560 por esses autores (SimAmazonia) projetou uma redução na cobertura florestal de 80,7%
561 ($4.512,0 \text{ km}^2$) até 2050 na reserva do Juma. A projeção de desmatamento do
562 SimAmazonia é 4,3 vezes maior do que o desmatamento projetado para o cenário linha
563 de base do presente estudo.

564

565 [Fig. 7 aqui]

566

567 A razão principal para essa diferença é que o incremento anual do desmatamento
568 simulado por Soares-Filho et al. (2006) para a reserva do Juma foi influenciado pela

569 área de floresta remanescente presente numa subregião cuja área total era de 1.647.690
570 km² ou 40% da área de floresta original da Amazônia Brasileira. Esses autores usaram
571 um conceito de subregiões definidas a partir de uma estratificação socioeconômica,
572 onde o estado do Amazonas e partes dos estados do Pará e Mato Grosso com áreas
573 consideráveis de floresta foram agrupadas em uma única subregião. Nesta subregião,
574 aproximadamente 89,9% da cobertura florestal estava intacta na paisagem inicial
575 (2001). A área anual desmatada foi calculada com base na extensão de floresta
576 remanescente desta subregião (i.e., multiplicando a taxa anual, expressa como uma
577 proporção, vezes a área de floresta). Entretanto, a alocação espacial das células
578 desmatadas concentrou-se nas porções nordeste e sudeste da subregião visto que nessas
579 áreas já havia um desmatamento prévio, além disso, nessas áreas o desmatamento seria
580 influenciado pela pavimentação de rodovias como a BR-319, BR-230 e BR-210.

581 Outra diferença entre o resultado da nossa linha de base e a linha de base usada
582 pelo projeto REDD do Juma é que o projeto REDD exclui certas áreas da reserva, tais
583 como, áreas desmatadas antes do início do projeto, propriedades privadas, áreas sob
584 influencia da rodovia AM-174, área de uso comunitário e áreas com vegetação não-
585 florestal (IDESAM, 2009). O documento de concepção do projeto REDD do Juma
586 (<http://www.fas-amazonas.org/pt/secao/projeto-juma>) descreve uma estimativa de
587 redução da cobertura florestal de 65,8% (3.661,5 km²) até 2050.

588 É importante enfatizar também que o modelo de Soares-Filho et al. (2006) indica
589 um aumento gradual nas taxas de desmatamento da subregião em questão. Esse
590 aumento foi devido à pavimentação da rodovia BR-319 (2012 e 2018) e trechos da
591 rodovia BR-230 (2025) (Soares-Filho et al., 2006). A maior diferença ocorreu depois de
592 2030, quando o efeito desses eventos no modelo SimAmazonia refletiram na área do
593 Juma. As pavimentações de rodovias associadas à projeção de estradas secundárias
594 contribuíram para o aumento do desmatamento na área da reserva do Juma. O presente
595 estudo não considerou a pavimentação de rodovias, somente considerou a construção
596 das rodovias AM 360 e BR-174. Essas rodovias causaram um aumento moderado na
597 taxa de desmatamento. Deste modo, o efeito dessas rodovias não ocasionou uma
598 alteração drástica na cobertura florestal da reserva do Juma.

599 A velocidade com que o desmatamento ocorre na reserva do Juma e na área de
600 entorno é a maior diferença entre os resultados da nossa linha de base e a de Soares-
601 Filho et al. (2006). Dado mais tempo, nosso modelo também demonstraria uma perda
602 significativa de floresta. Quando nosso modelo é rodado até o ano de 2100, o resultado
603 é qualitativamente similar ao resultado de 2050 de Soares-Filho et al. (2006) (Fig. S4).
604 Os principais fatores que afetam o valor atribuído às emissões evitadas através da
605 criação da reserva é o prazo das emissões (e de emissões evitadas) e o valor relacionado
606 ao tempo por meio do desconto e da escolha do horizonte de tempo (Fearnside, 2009).
607 Quando o desmatamento reduz significativamente a floresta disponível na área de
608 entorno da reserva, como poderia ocorrer até 2100 em nosso modelo (Fig. S4), os
609 benefícios do carbono que teriam sido perdidos devido ao vazamento ao longo dos anos
610 será recuperado, pois o desmatamento que eliminaria a floresta dentro da reserva no
611 cenário linha de base (sem a reserva) será impedido de ocorrer (Fearnside, 2009).

612 Observações ecológicas feitas em diferentes escalas espaciais podem implicar
613 em resultados extremamente diferenciados; quanto mais grosseira for a resolução
614 espacial usada na modelagem, maior a chance de haver erros decorrentes de distorções e
615 perdas de informações (Yeh e Li 2006). Os modelos construídos no DINAMICA EGO

616 são baseados em mecanismos de autômatos celulares, onde o estado de uma célula é
617 determinado em função das células vizinhas e as probabilidades espaciais de uma célula
618 mudar de um estado para outro é calculado para cada célula de acordo com as transições
619 especificadas no mapa de cobertura da terra. Então, dependendo da resolução espacial
620 utilizada, a alocação das células nas áreas mais favoráveis para cada transição pode ser
621 modificada no mapa de probabilidade, conseqüentemente a dinâmica da paisagem dos
622 cenários simulados será diferente.

623 Os mapas de entrada utilizados no modelo de Soares-Filho et al. (2006) tinham
624 uma resolução espacial de 1 e 2 km, e os mapas simulados tinham resolução espacial de
625 1 km. IDESAM (2009) menciona que a dificuldade de ter usado cenários com células de
626 1×1 km é que o tamanho original dos atributos não corresponde com a realidade da
627 área, o que dificulta delimitar a área de floresta com potencial para gerar créditos de
628 carbono por REDD.

629 Embora a resolução espacial usada no atual estudo ter sido de 250m, foi possível
630 detectar perda de informações. Por exemplo, áreas de vegetação secundária mapeadas
631 com imagens de Landsat-5 TM com resolução espacial de 30m foram suprimidas
632 quando as imagens foram degradadas para 250m.

633 Projeções feitas pelo modelo SimAmazonia (Soares-Filho et al., 2006) foram
634 importantes para demonstrar as possíveis trajetórias da floresta Amazônica em escala
635 regional. Entretanto, é importante enfatizar que o uso desse tipo de abordagem numa
636 escala local, como no caso de uma reserva, pode ser perigoso para estimar as reduções
637 de emissão de carbono em projetos de REDD, pois pode superestimar as taxas de
638 desmatamento.

639 Se o cenário linha de base superestima a taxa de desmatamento na área do
640 projeto, somente parte da intervenção seria de fato adicional, e o comprador do serviço
641 ambiental pagaria por uma redução do desmatamento que não é real (e.g., Wunder et al.,
642 2008).

643 *4.5. Efetividade e vazamento na reserva do Juma*

644
645 De maneira geral, estudos que avaliam a efetividade de áreas protegidas
646 comparam o impacto de atividades antropogênicas (desmatamento, queimadas,
647 exploração madeireira, caça e pesca predatória) dentro e fora dos limites da reserva
648 (Bruner et al., 2001; Ewers e Rodrigues, 2008). Assim, se a pressão antropogênica é
649 menor dentro da reserva em comparação com a área de entorno, isso significa que a
650 restrição de uso desta área tem um impacto positivo para a conservação (Ewers e
651 Rodrigues, 2008). Entretanto, a redução do desmatamento dentro da reserva pode
652 posteriormente contribuir para a aceleração do desmatamento em outras áreas
653 importantes para a conservação da biodiversidade localizadas próximas a reserva (efeito
654 de vazamento). Neste contexto, estratégias para quantificar e prevenir o vazamento em
655 projetos de REDD tem sido propostas no contexto de mitigação das mudanças
656 climáticas (mais detalhes em Wunder, 2008).

657 No presente estudo, devido às características estocásticas dos modelos baseados
658 em autômatos celulares (que produz variações em cada simulação) e o fato da taxa
659 média de vazamento ter sido obtida pelo CV, não foi possível simular um cenário 100%
660 sem vazamento. Pode-se observar também que o desmatamento oriundo do vazamento
661 não se concentrou na área de entorno da reserva (*buffer* de 10 km). Nessa faixa, as áreas

662 desmatadas no CV e CVR foram similares; portanto, presume-se que o desmatamento
663 derivado do efeito do vazamento foi alocado em outras áreas da paisagem.

664 Cenários com vazamento foram simulados com outros estudos (Aguiar, 2006; Vitel,
665 2009). Na simulação feita por Aguiar (2006) usando o arcabouço de modelagem CLUE,
666 a demanda por terra (taxa de desmatamento) foi constante. Portanto, a criação de áreas
667 protegidas não influenciou as taxas globais de desmatamento, e somente induziu o
668 deslocamento do desmatamento para outras áreas que não tinham nenhum tipo de
669 restrição de uso (100% de vazamento). Aguiar (2006) argumenta que cenários com
670 vazamento podem de fato ocorrer, pois os efeitos de decisões políticas locais podem
671 refletir em ações não necessariamente benéficas a outras áreas. Isso, entretanto, depende
672 da percepção dos atores em relação às restrições e oportunidade criadas pelas políticas
673 públicas. Vitel (2009), usando o modelo AGROECO simulou diferentes cenários com e
674 sem a criação de reservas de uso sustentável e proteção integral no município de Lábrea
675 (sudoeste do Amazonas). Este estudo demonstrou que, com a criação de reservas de
676 proteção integral, o desmatamento que ocorreria nessas áreas na ausência da reserva
677 seria deslocado para áreas dentro da reserva de uso sustentável que é considerada uma
678 das categorias de reserva mais vulneráveis ao desmatamento. Assim, áreas protegidas
679 que tem uma maior restrição de uso como as reservas de proteção integral e terras
680 indígenas, tendem a serem mais eficazes em comparação as reservas de uso sustentável
681 (Clark et al., 2008). Por outro lado, um maior apoio político para a criação de reservas
682 de uso sustentável dá a elas um papel importante na conservação devido a necessidade
683 para a expansão substancial de áreas protegidas antes que o aumento da pressão do
684 desmatamento torne a criação de reservas impraticável (Fearnside, 2003b).

685 As projeções elaboradas no presente estudo demonstraram que a maior parte do
686 desmatamento dentro da reserva do Juma foi alocada próxima as estradas (estradas
687 secundárias e da rodovia AM-174 que atravessa a reserva) e em áreas previamente
688 desmatadas. Esse resultado está de acordo com análises feita por Brandão Jr. et al.
689 (2007) relacionando o desmatamento com estradas oficiais e não-oficiais na Amazônia.
690 Esses autores observaram que o desmatamento decaiu exponencialmente com o aumento
691 da distância das estradas. Souza Jr. et al. (2005) sugerem que a identificação de áreas
692 susceptíveis a expansão de estradas ilegais pode ser um critério importante na
693 priorização de criação de áreas protegidas.

694 *4.6. Estimativas de emissão de carbono nos cenários projetados*

695
696 IDESAM (2009) estimou o estoque na reserva do Juma em 2006 em 0,07 Pg C.
697 O presente estudo estimou um estoque de 0,10 Pg C em 2008. A diferença é devido ao
698 fato que a estimativa do estoque de carbono usado por IDESAM (2009) foi uma média
699 baseada no relatório do MCT (2004) e o estudo de Nogueira et al. (2008), enquanto no
700 presente estudo, a estimativa de cada tipo de floresta foi baseada somente em Nogueira
701 et al. (2008). O relatório do MCT (2004) subestima a biomassa por várias razões
702 (Fearnside, 2008b). Áreas com vegetação não florestal, propriedades particulares (áreas
703 com título legal), áreas próximas de comunidades e áreas de influência da rodovia AM-
704 174 foram excluídas da contabilização do estoque de carbono feitos por IDESAM
705 (2009), enquanto que no presente estudo, toda a cobertura florestal da reserva, bem
706 como a vegetação não florestal, foi incluída na contabilização.

707 Na área total de estudo, a média anual das emissões simuladas foram de $6,10 \times$
708 10^6 Mg C (linha de base), $6,07 \times 10^6$ Mg C (CV) e $5,90 \times 10^6$ Mg C (CVR). Esses

709 valores correspondem a 6,9% (linha de base), 6,8% (CV) e 6,7% (CVR) das emissões
710 por combustíveis fósseis no Brasil em 2005 ($88,7 \times 10^6$ Mg C) (MCT, 2010). Na área da
711 reserva do Juma, a média anual de emissões no cenário linha de base corresponde a
712 0,5% ($0,45 \times 10^6$ Mg C) das emissões por combustíveis fósseis no Brasil em 2005. No
713 cenário com a criação da reserva a emissão correspondeu a 0,2% ($0,17 \times 10^6$ Mg C) das
714 emissões brasileiras por combustíveis fósseis.

715 Fearnside (2008c) estimou as emissões por desmatamento em 2007 na Amazônia
716 Brasileira em $162,5 \times 10^6$ Mg C (11.224 km^2). Essa estimativa da taxa de desmatamento
717 foi baseada somente em cenas do Landsat-TM consideradas críticas (74 imagens) nesse
718 período (INPE, 2010). As médias anuais das emissões simuladas no presente estudo
719 correspondem a 3,8% (linha de base), 3,7% (CV) e 3,6% (CVR) das emissões de
720 carbono para Amazônia em 2007. Para a reserva do Juma, esses valores correspondem a
721 0,3% (linha de base) e 0,1% (CV e CVR).

722 Enfatizamos que as incertezas inerentes às estimativas de biomassa da floresta e as
723 emissões correspondentes por hectare desmatado (ver material suplementar) são
724 separadas das que são inerentes na simulação da forma como o desmatamento procede
725 com e sem a reserva (ver material suplementar). A magnitude e a locação do
726 desmatamento nos cenários simulados são importantes para esclarecer a importância de
727 como as taxas de desmatamentos são calculadas (por exemplo, o cenário linha de base
728 usado no projeto REDD do Juma versus nosso modelo), e em identificar o papel de
729 fatores, tais como, o vazamento dos benefícios climáticos da reserva ao longo do
730 período de tempo considerado. Essas conclusões não mudariam se a verdadeira
731 biomassa das florestas da área fosse diferente das estimativas que nós usamos. As
732 simulações do desmatamento têm incertezas quanto à escolha da estrutura do modelo e
733 na quantificação dos parâmetros, mas nós acreditamos que as nossas escolhas se
734 comparam bem com outros modelos, tal como, o que foi usado pelo projeto REDD do
735 Juma.

736 No caso do nosso modelo, as taxas de desmatamento refletem padrões de
737 comportamento da área de estudo do período de 2003-2008, sendo que este não foi um
738 período de medidas de controle significativo. Desde 2008, essa parte da Amazônia não
739 priorizou a fiscalização. Isso pode mudar no futuro em qualquer direção. A incerteza
740 futura inclui a importância quanto às preocupações ambientais no desenvolvimento de
741 políticas na Amazônia.

742 Um revés significativo para a sustentabilidade da floresta Amazônica ocorreu em
743 2011 e 2012, incluindo repetidas vitórias do “bloco dos ruralistas” (representantes de
744 grandes proprietários) enfraquecendo o “Código Florestal” Brasileiro (a necessidade de
745 manutenção da lei de 1965 na definição de áreas de florestas em propriedades privadas)
746 e restringindo a autoridade de agências federais responsáveis pela aplicação da
747 legislação ambiental e da criação de áreas protegidas (ver Fearnside, 2010; Metzger et
748 al., 2010; IPEA, 2011; CBDFDS, 2012). Incertezas inerentes a pressupostos referentes
749 aos níveis futuros de governança devem ser consideradas na interpretação dos
750 resultados deste ou de qualquer outro modelo que represente a mudança de uso ao longo
751 de períodos de décadas. Projeções do desmatamento produzidas por modelos
752 estocásticos são representações simplificadas de um sistema complexo e, portanto, os
753 resultados devem ser vistos apenas como possíveis possibilidades. O modelo
754 AGROECO foi desenvolvido com o intuito de auxiliar na compreensão das mudanças
755 na cobertura da terra na região Amazônica. Assim, apesar das limitações do modelo, os
756 cenários podem contribuir para avaliar a metodologia utilizada atualmente nos projetos
757 REDD no estado do Amazonas.

758 Como mencionado no início, à posição do REDD na mitigação das mudanças
759 climáticas é um tópico extremamente controverso. Os resultados do presente estudo
760 serão sem dúvidas interpretadas de forma diferenciada pela ala opositora. Defensores
761 anti-REDD podem concluir que os benefícios de carbono do projeto REDD do Juma são
762 irrealisticamente elevados para reserva ao longo do período do projeto, demonstrando
763 que o REDD deveria ser excluído da concessão de créditos da Convenção das Nações
764 Unidas sobre Mudanças Climáticas, enquanto que os proponentes do REDD apontariam
765 para os avanços na modelagem do desmatamento do nosso estudo e para a indicação dos
766 benefícios climáticos ao longo do horizonte de tempo como argumento em favor desta
767 forma de mitigação.

768

769 **5. Conclusão**

770

771 As projeções demonstraram uma redução nas emissões de carbono pelo
772 desmatamento devido à presença da reserva do Juma. No entanto, devido o horizonte de
773 tempo usado na modelagem (2050), os benefícios do carbono devem ser modestos e são
774 substancialmente menores daqueles calculados pelo projeto REDD do Juma. Isso indica
775 a necessidade de aumentar a cautela na modelagem de linha de base para o cálculo dos
776 benefícios de carbono para projetos de REDD se a geração de “ar quente” (credito sem
777 adicionalidade) é para ser evitada.

778 Com o aumento do desmatamento na região, a reserva do Juma terá um papel cada
779 vez mais importante na estocagem de carbono e na manutenção de outros serviços
780 ambientais. A quantidade e o tempo do vazamento devem ser considerados e
781 quantificados; para o horizonte de tempo de 42 anos considerado neste estudo, o
782 vazamento reduziria o benefício do carbono líquido da reserva, mas os benefícios da
783 reserva seriam maiores num horizonte de tempo maior.

784

785 **Agradecimentos**

786

787 Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), à
788 Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), ao Conselho
789 Nacional do Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq: Proc. 305880/2007-1;
790 573810/2008-7; 575853/2008-5) e ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos
791 Serviços Ambientais da Amazônia (INCT-Servamb) pelo suporte financeiro e logístico
792 para a realização desta pesquisa. A Fundação Amazonas Sustentável pelo apoio
793 logístico para a realização do trabalho de campo. Nós agradecemos ao Britaldo Soares-
794 Filho por nos ajudar a compreender o modelo SimAmazonia. Quatro revisores
795 anônimos que forneceram comentários importantes.

796

797 **Referências**

798

799 Agterberg, F.P., Bonham-Carter G.F., 2005. Measuring the performance of mineral-
800 potential maps. *Natural Resources Research* 14, 1-17.

801

802 Aguiar, A.P.D., 2006. Modeling land use change in the Brazilian Amazon: Exploring
803 intraregional heterogeneity. Tese de doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas
804 Espaciais, São José dos Campos, São Paulo, Brasil.

805

806 Almeida, C.A., Valeriano, D.M., Escada, M.I.S., Rennó, C.D., 2010. Estimativa de área
807 de vegetação secundária na Amazônia Legal Brasileira. *Acta Amazonica* 40, 289-302.

- 808
809 Angelsen, A., 2008. Moving ahead with REDD: Issues, options and implications.
810 CIFOR, Bogor, Indonesia.
811
- 812 Assunção, J., Gandour, C.C., Rocha, R., 2012. Deforestation Slowdown in the Legal
813 Amazon: Prices or Policies? Climate Policy Initiative (CPI) Working Paper, Pontífca
814 Universidade Católica (PUC), Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 37 pp.
815 <[http://climatepolicyinitiative.org/publication/deforestation-slowdown-in-the-legal-](http://climatepolicyinitiative.org/publication/deforestation-slowdown-in-the-legal-amazon-prices-or-policie/)
816 [amazon-prices-or-policie/](http://climatepolicyinitiative.org/publication/deforestation-slowdown-in-the-legal-amazon-prices-or-policie/)>, acesso em 08.06.2012.
817
- 818 Barreto, P., Brandão Jr., A., Martins, H., Silva, D., Souza Jr., C., Sales, M., Feitosa, T.,
819 2011. Risco de Desmatamento Associado à Hidrelétrica de Belo Monte. Instituto do
820 Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), Belém, Pará, Brasil. 98 pp.
821 <[http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/risco-de-desmatamento-associado-a-](http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/risco-de-desmatamento-associado-a-hidreletrica-de-belo-monte/at_download/file)
822 [hidreletrica-de-belo-monte/at_download/file](http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/risco-de-desmatamento-associado-a-hidreletrica-de-belo-monte/at_download/file)>, acesso em 08.06.2012.
823
- 824 Becker, B.K., 2005. Geopolítica da Amazônia. Estudos Avançados 19, 71-86.
825
- 826 Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P., Wright, D.F., 1989. Weights of evidence
827 modeling: a new approach to mapping mineral potential, in: Agterberg, F. P., Bonham-
828 Carter, G. F. (Eds.), Statistical Applications in Earth Sciences. Geological Survey of
829 Canada, Paper 89-9, Ottawa, Canada, pp. 171-183.
830
- 831 Brandão Jr., A.O., Souza Jr., C.M., Ribeiro, J.G.F., Sales, M.H.R., 2007. Desmatamento
832 e estradas não-oficiais da Amazônia. Anais do XIII Simpósio Brasileiro de
833 Sensoriamento Remoto, Florianópolis. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Santa
834 Catarina, Brasil. pp. 2357-2364.
835 <[http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.47/doc/2357-](http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.47/doc/2357-2364.pdf)
836 [2364.pdf](http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.47/doc/2357-2364.pdf)>, acess em 07.07.2010.
837
- 838 Bruner, A.G., Gullison, R.E., Rice, R.E., Fonseca, G.A.B., 2001. Effectiveness of Parks
839 in Protecting Tropical Biodiversity. Science 291, 125-128.
840
- 841 Carrero, G.C., Fearnside, P.M., 2011. Forest clearing dynamics and the expansion of
842 land holdings in Apuí, a deforestation hotspot on Brazil's Transamazon Highway.
843 Ecology and Society 16(2), 26. <<http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss2/art26/>>
844
- 845 CBDFDS, 2012. Código Florestal e a Ciência: o que nossos legisladores ainda precisam
846 saber. Comitê Brasil em Defesa das Florestas e do Desenvolvimento Sustentável
847 (CBDFDS), Brasília, Distrito Federal, Brasil. 115 pp.
848 <[http://www.ipam.org.br/download/livro/Codigo-Florestal-e-a-Ciencia-o-que-nossos-](http://www.ipam.org.br/download/livro/Codigo-Florestal-e-a-Ciencia-o-que-nossos-legisladores-ainda-precisam-saber/618)
849 [legisladores-ainda-precisam-saber/618](http://www.ipam.org.br/download/livro/Codigo-Florestal-e-a-Ciencia-o-que-nossos-legisladores-ainda-precisam-saber/618)>, acesso em 08.06.2012.
850
- 851 Cenamo, M.C., Carrero, G.C., Soares, P.G., 2011. Reduções de emissões do
852 desmatamento e degradação florestal (REDD+): Estudo de oportunidades para a região
853 sul do Amazonas. Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável do
854 Amazonas (IDESAM), Série Relatórios Técnicos n° 1 , Manaus, Amazonas, Brasil.
855 <http://www.idesam.org.br/documentos/pdf/sul_amazonas_versao_final.pdf>, acesso
856 em 14.05.2011.
857

- 858 Cepal, 2007. Análise Ambiental e de Sustentabilidade do Estado do Amazonas.
859 Colección Documentos de proyectos, no. 126, Comissão Econômica para América
860 Latina e Caribe (CEPAL), Santiago, Chile.
861 <<http://www.eclac.org/publicaciones/xml/1/29161/LC-W126.pdf>>, acesso em
862 14.05.2010.
863
- 864 Clark, S., Bolt, K., Campbell, A., 2008. Protected areas: an effective tool to reduce
865 emissions from deforestation and forest degradation in developing countries? Working
866 Paper, UNEP World Conservation Monitoring Centre, Cambridge, U.K.
867 <http://quin.unep-wcmc.org/climate/pdf/Clark_et_al_2008_PA_deforn.pdf>, acesso em
868 03.05.2010.
869
- 870 Ewers, R.M., Rodrigues, A.S.L., 2008. Estimates of reserve effectiveness are
871 confounded by leakage. *Trends in Ecology and Evolution* 23, 113-116.
872
- 873 Fearnside, P.M., 2002. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas
874 florestais da Amazônia brasileira. *Estudos Avançados* 16, 99-123.
875
- 876 Fearnside, P.M., 2003a. A Floresta Amazônica nas Mudanças Globais. Instituto
877 Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, Amazonas, Brasil. 134 pp.
878
- 879 Fearnside, P.M., 2003b. Conservation Policy in Brazilian Amazonia: understanding the
880 dilemmas. *World Development* 31, 757-779.
881
- 882 Fearnside, P.M., 2005. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates and
883 consequences. *Conservation Biology* 19, 680-688.
884
- 885 Fearnside, P.M., 2008a. The roles and movements of actors in the deforestation of
886 Brazilian Amazonia. *Ecology e Society* 13(1), 23.
887
- 888 Fearnside, P.M., 2008b. Quantificação do serviço ambiental do carbono nas florestas
889 amazônicas brasileiras. *Oecologia Brasiliensis* 12, 743-756.
890
- 891 Fearnside, P.M., 2008c. Deforestation in Brazilian Amazonia and global warming.
892 *Annals of Arid Zone* 47, 355-374.
893
- 894 Fearnside, P.M., 2009. Carbon benefits from Amazonian forest reserves: leakage
895 accounting and the value of time. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global*
896 *Change* 14, 557-567.
897
- 898 Fearnside, P.M., 2010. Código Florestal: As perdas invisíveis. *Ciência Hoje* 46(273), 66-
899 67.
900
- 901 Fearnside, P.M., 2011. Brazil's Amazon Forest in mitigating global warming:
902 unresolved controversies. *Climate Policy* 12 (1), 70-81.
903
- 904 Fearnside, P.M., 2012. The theoretical battlefield: Accounting for the climate benefits of
905 maintaining Brazil's Amazon forest. *Carbon Management* 3(2), 145-148.
906

- 907 Fearnside, P.M., Guimarães, W.M., 1996. Carbon uptake by secondary forests in
908 Brazilian Amazonia. *Forest Ecology e Management* 80, 35-46.
- 909
- 910 Fearnside, P.M., Graça, P.M.L.A., Keizer, E.W.H., Maldonado, F.D., Barbosa, R.I.,
911 Nogueira, E.M., 2009a. Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito
912 estufa na região sob influência da Rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). *Revista*
913 *Brasileira de Meteorologia* 24, 208-233.
- 914
- 915 Fearnside, P.M., Righi, C.A., Graça, P.M.L.A., Keizer, E.W.H., Cerri, C.C., Nogueira,
916 E.M., Barbosa, R.I., 2009b. Biomass and greenhouse-gas emissions from land-use
917 change in Brazil's Amazonian "arc of deforestation": The states of Mato Grosso and
918 Rondônia. *Forest Ecology and Management* 258, 1968-1978.
- 919
- 920 Ferreira, L.V., Venticinque, E., Almeida, S., 2005. O desmatamento na Amazônia e a
921 importância das áreas protegidas. *Estudos Avançados* 19, 157-166.
- 922
- 923 Ghazoul, J., Butler, R.A., Mateo-Vega, J., Koh, L.P., 2010. REDD: a reckoning of
924 environment and development implications. *Trends in Ecology and Evolution* 25, 396-
925 402.
- 926
- 927 Graça, P.M.L.A., Yanai, A.M., 2008. Análise da dinâmica espacial de vegetação
928 secundária na região de Samuel (RO), a partir de dados multitemporais de Landsat-TM
929 no período de 1998 a 2007. *Anais da Conferência do Subprograma de Ciência e*
930 *Tecnologia SPC&T Fase II/PPG7, Belém. Conselho Nacional de Desenvolvimento*
931 *Científico e Tecnológico (CNPq), Pará, Brasil. pp. 56-59.*
- 932
- 933 Graça, P.M.L.A., Maldonado, F.D., Fearnside, P.M., 2007. Detecção de desmatamento
934 em novas áreas de expansão agropecuária no sul do Amazonas utilizando imagens
935 CBERS-2. *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis.*
936 *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Santa Catarina, Brasil. pp. 917-924.*
937 <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.10.22.21/doc/917-924.pdf>,
938 acesso em 27.05.2010.
- 939
- 940 Hagen, A., 2003. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps.
941 *International Journal of Geographical Information Science* 17, 235-249.
- 942
- 943 Hargrave, J., Kis-Katos, K., 2011. Economic causes of deforestation in the Brazilian
944 Amazon: a panel data analysis for the 2000s. Discussion Paper Series n.17, University
945 of Freiburg, Freiburg, Germany. 30 pp. [http://www.vwl.uni-
946 freiburg.de/iwipol/discussion_papers/DP17_Hargrave_Kis-Katos%20-
947 %20Economic%20Causes%20of%20Deforestation%20in%20the%20Brazilian%20Ama
948 zon.pdf](http://www.vwl.uni-freiburg.de/iwipol/discussion_papers/DP17_Hargrave_Kis-Katos%20-%20Economic%20Causes%20of%20Deforestation%20in%20the%20Brazilian%20Amazon.pdf), acesso em 09.06.2012.
- 949
- 950 IDESAM, 2009. Projeto de Redução de Emissões de GEE Provenientes do
951 Desmatamento na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma, Amazonas,
952 Brasil. Documento de Concepção do Projeto (DCP), versão 5.1. Instituto de
953 Conservação e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas (IDESAM), Manaus,
954 Amazonas, Brasil.
955 http://www.idesam.org.br/documentos/pdf/PDD_Projeto%20Juma_portugues.pdf,
956 acesso em 15.05.2010.

- 957
958 INPE, 2010. Projeto PRODES – Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite.
959 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo,
960 Brasil. <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>>, acesso em 10.06.2010.
961
- 962 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. Climate Change 2007: The
963 Physical Science Basis: Summary for Policymakers - Contribution of Working Group I
964 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
965 WMO/UNEP, Cambridge University Press, Cambridge, U.K.
966
- 967 IPEA, 2011. Código Florestal: Implicações do PL1876/99 nas Áreas de Reserva Legal.
968 Comunicados IPEA, n° 96, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Rio de
969 Janeiro, Brasil. 23 pp.
970 <[http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/comunicado/110616_comunicadoi](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/comunicado/110616_comunicadoipea96.pdf)
971 [pea96.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/comunicado/110616_comunicadoipea96.pdf)>, acesso em 08.06.2012.
972
- 973 Jacob, N., Krishnan, R., Prasada Raju, P.V.S.P., Saibaba, J., 2008. Spatial and Dynamic
974 Modeling Techniques for Land Use Change Dynamics Study. XXIth International
975 Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences,
976 Beijing. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Beijing, China.
977 p. 3734.
978 <[http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.155.2641&rep=rep1&type=](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.155.2641&rep=rep1&type=pdf)
979 [pdf](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.155.2641&rep=rep1&type=pdf)>, acesso em 27.07.2011.
980
- 981 MCT, 2004. Ministério de Ciência e Tecnologia. Primeiro Inventário Brasileiro de
982 Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatórios de Referência. Emissões e
983 remoções de dióxido de carbono por conversão de florestas e abandono de terras
984 cultivadas. Ministério de Ciência e Tecnologia, Brasília, Distrito Federal, Brasil. 271
985 pp. <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/21455.html>>, acesso em
986 05.09.2011.
987
- 988 MCT, 2010. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das
989 Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT),
990 Brasília, Distrito Federal, Brasil. 520 pp.
991 <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/326751.html>>, acesso em 05.09.2011.
992
- 993 Metzger, J.P., Lewinsohn, T., Joly, C.A., Verdade, L.M., Rodrigues, R.R., 2010.
994 Brazilian law: full speed in reverse. *Science* 329, 276-277.
995
- 996 Moutinho, P., Martins, O.S., Christovam, M., Lima, A., Nepstad, D., Crisostomo, A.C.,
997 2011. The emerging REDD+ regime of Brazil. *Carbon Management* 2, 587-602.
998
- 999 Nepstad, D.C., Schwartzman, S., Bamberger, B., Santilli, M., Ray, D., Schlesinger, P.,
1000 Lefebvre, R., Alencar, A.A., Prinz, E., Fiske, G., Rolla, A., 2006. Inhibition of Amazon
1001 deforestation and fire by parks and indigenous lands. *Conservation Biology* 20, 65-73.
1002
- 1003 Nepstad, D., Soares-Filho, B.S., Merry, F., Moutinho, P., Rodrigues, H.O., Bowman,
1004 M., Schwartzman, S., Almeida, O., Rivero, S., Bowman, M., 2007. Custos e Benefícios
1005 da Redução das Emissões de Carbono do Desmatamento e da Degradação (REDD) na

- 1006 Amazônia Brasileira. WHRC, IPAM, UFMG, Brasília, Distrito Federal, Brasil.
1007 <<http://www.ipam.org.br/biblioteca/livro/id/128>>, acesso em 20.03.2010.
1008
- 1009 Nogueira, E.M., Fearnside, P.M., Nelson, B.W., Barbosa, R.I., Keizer, E.W.H., 2008.
1010 Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and
1011 adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and*
1012 *Management* 256, 1853-1867.
1013
- 1014 Olson, J.S., Watts, J.A., Allison, L.J., 1983. Carbon in live vegetation of major world
1015 ecosystems. Oak Ridge National Laboratory/Union Carbide, Oak Ridge, Tennessee,
1016 U.S.A.
1017
- 1018 Parker, C., Mitchell, A., Trivedi, M., Mardas, N., 2009. *The Little REDD+ Book.*
1019 *Global Canopy Programme, Oxford, U.K.*
1020 <[http://unfccc.int/files/methods_science/redd/application/pdf/the_little_redd_book_dec_](http://unfccc.int/files/methods_science/redd/application/pdf/the_little_redd_book_dec_08.pdf)
1021 [08.pdf](http://unfccc.int/files/methods_science/redd/application/pdf/the_little_redd_book_dec_08.pdf)>, acesso em 19.03.2010.
1022
- 1023 Rodrigues, H.O., Soares-Filho, B.S., Costa, W.L.S., 2007. Dinamica EGO, uma
1024 plataforma para modelagem de sistemas ambientais. *Anais do XIII Simpósio Brasileiro*
1025 *de Sensoriamento Remoto, Florianópolis. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais,*
1026 *Santa Catarina, Brasil. pp. 21-26*
1027 <[http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.17.59/doc/3089-](http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.17.59/doc/3089-3096.pdf)
1028 [3096.pdf](http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.17.59/doc/3089-3096.pdf)>, acesso em 07.07.2011.
1029
- 1030 Rykiel Jr., E.J., 1996. Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecological*
1031 *Modelling* 90, 229-244.
1032
- 1033 SDS, 2008. *Plano Estadual de Prevenção e Combate ao Desmatamento no Amazonas.*
1034 *Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas*
1035 *(SDS), Manaus, Amazonas, Brasil.*
1036 <[http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galeria](http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galerias/Arquivos/Publicacoes/Plano_Estadual_do_Amazonas.pdf)
1037 [s/Arquivos/Publicacoes/Plano_Estadual_do_Amazonas.pdf](http://www.fundoamazonia.gov.br/FundoAmazonia/export/sites/default/site_pt/Galerias/Arquivos/Publicacoes/Plano_Estadual_do_Amazonas.pdf)>, acesso em 1.06.2010.
1038
- 1039 SDS, 2010. *Plano de gestão da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma. Série*
1040 *Técnica Planos de Gestão. Volumes I e II. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e*
1041 *Desenvolvimento Sustentável do Amazonas (SDS), Novo Aripuanã, Amazonas, Brasil.*
1042 <<http://www.ceuc.sds.am.gov.br/downloads/category/9-planosdegestao.html> >, acesso
1043 em 23.06. 2010.
1044
- 1045 Silva, R.P., 2007. *Alometria, estoque e dinâmica da biomassa de florestas primárias e*
1046 *secundárias na região de Manaus (AM). Tese de doutorado. Instituto Nacional de*
1047 *Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brasil, 135 pp.*
1048
- 1049 Sirakoulis, G.Ch., Karafyllidis, I., Thanailakis, A., 2000. A cellular automaton model
1050 for the effects of population movement and vaccination on epidemic propagation.
1051 *Ecological Modelling* 133, 209-223.
1052
- 1053 Soares-Filho, B.S., Pennachin, C.L., Cerqueira, G.C., 2002. *DINAMICA – a stochastic*
1054 *cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian*
1055 *colonization frontier. Ecological Modelling* 154, 217-235.

- 1056
1057 Soares-Filho, B.S., Alencar, A., Nepstad, D., Cerqueira, G. C., Vera Diaz, M., Rivero,
1058 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.
1060 *Global Change Biology* 10, 745-764.
- 1061
1062 Soares-Filho, B.S., Nepstad, D., Curran, L.M., Cerqueira, G.C., Garcia, R.A., Ramos,
1063 C.A., Voll, E., Mcdonald, A., Lefebvre, P., Schlesinger, P., 2006. Modelling
1064 Conservation in the Amazon Basin. *Nature* 440, 520-523.
- 1065
1066 Soares-Filho, B.S., Rodrigues, H.O., Costa, W.L., 2009. Modeling Environmental
1067 Dynamics with Dinamica EGO. Centro de Sensoriamento Remoto. Universidade
1068 Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
1069 <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/tutorial/Dinamica_EGO_guidebook.pdf>, acesso em
1070 03.09.2010.
- 1071
1072 Souza Jr., C.M., Brandão Jr., A.O., Anderson, A., Veríssimo, A., 2005. O avanço das
1073 estradas endógenas na Amazônia. O estado da Amazônia. IMAZON, Belém, Pará,
1074 Brasil.<[http://www.imazon.org.br/publicacoes/o-estado-da-amazonia/avanco-das-](http://www.imazon.org.br/publicacoes/o-estado-da-amazonia/avanco-das-estradas-endogenas-na-amazonia)
1075 [estradas-endogenas-na-amazonia](http://www.imazon.org.br/publicacoes/o-estado-da-amazonia/avanco-das-estradas-endogenas-na-amazonia)>, acesso em 27.05.2010.
- 1076
1077 Stickler, C.M., Nepstad, D., Coe, M.T., McGrath, D.G., Rodrigues, H.O., Walker, W.S.,
1078 Soares-Filho, B.S., Davidson, E.A., 2009. The potential ecological costs and cobenefits
1079 of REDD: A critical review and case study from the Amazon region. *Global Change*
1080 *Biology* 15, 2803-2824.
- 1081
1082 van der Werf, G.F., Morton, D.C., DeFries, R.S, Olivier, J.G.J., Kasibhatla, P.S.,
1083 Jackson, R.B., Collatz, G.J., Randerson, J.T., 2009. CO₂ emissions from forest loss.
1084 *Nature Geoscience* 2, 737–738.
- 1085
1086 Vitel, C.S.M.N., 2009. Modelagem da dinâmica do desmatamento de uma fronteira em
1087 expansão, Lábrea, Amazonas. Dissertação de mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas
1088 da Amazônia, Manaus, Amazonas, Brasil, 121 pp.
- 1089
1090 Walker, W.S., Stickler, C.M., Kellndorfer, J.M., Kirsch, K.M., Nepstad, D., 2010.
1091 Large-area classification and mapping of forest and land cover in the Brazilian Amazon:
1092 a comparative analysis of ALOS/PALSAR and Landsat data sources. *Journal of*
1093 *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 3, 594-604.
- 1094
1095 Wunder, S., 2008. How do we deal with leakage, in: Angelsen, A. (Ed.), *Moving Ahead*
1096 *with REDD: Issues, Options and Implications*. CIFOR, Bogor, Indonésia, pp. 65-75.
- 1097
1098 Wunder, S., Börner, J., Tito, M.R., Pereira, L., 2008. Pagamentos por serviços
1099 ambientais: perspectivas para a Amazônia Legal. Série Estudos, 10. Ministério do Meio
1100 Ambiente (MMA), Brasília, Distrito Federal, Brasil.
1101 <<http://www.ipam.org.br/biblioteca/livro/id/373>>, acesso em 27.05.2010.
- 1102
1103 Yeh, A.G.O., Li, X., 2006. Errors and uncertainties in urban cellular automata.
1104 *Computers, Environment e Urban Systems* 30, 10-28.

Legenda das Figuras

Fig. 1. Localização da área de estudo. O limite da área de estudo total está destacada pelo *buffer* em forma circular

Fig. 2. Fluxograma indicando as etapas deste estudo

Fig. 3. Mapas da paisagem em 2050 nos três cenários: linha de base, CV e CVR. Mapas na posição superior demonstram a paisagem na área total da simulação e mapas na posição inferior destacam a reserva do Juma.

Fig. 4. Área desmatada e regenerada dentro e fora da reserva do Juma até 2050 no (a) cenário com vazamento (CV), (b) cenário com vazamento reduzido (CVR) e (c) área ocupada por estradas dentro da reserva do Juma e na área de entorno até 2050.

Fig. 5. Estimativa do estoque de carbono presente em 2008 e após 42 anos (2050) nos três cenários na área total de estudo e na reserva do Juma.

Fig. 6. Estimativa da emissão líquida até 2050 para cada cenário na área total de estudo e na reserva do Juma.

Fig. 7. Mapas na posição superior indicam o cenário *business as usual* elaborado por Soares-Filho et al. (2006) usado como linha de base no projeto REDD do Juma; mapas na posição inferior indicam o cenário linha de base do presente estudo.

Tabela 1

Mapas elaborados e inseridos no modelo AGROECO como dados de entrada.

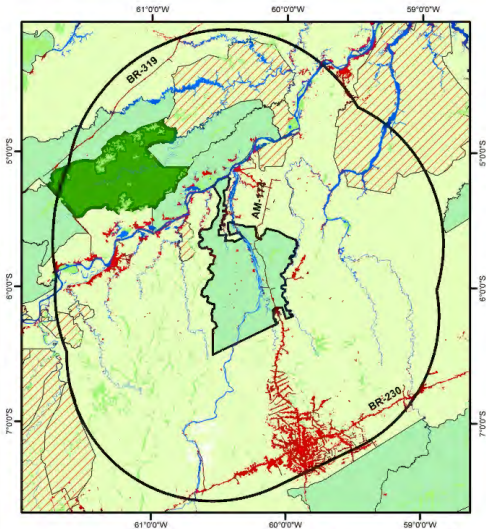
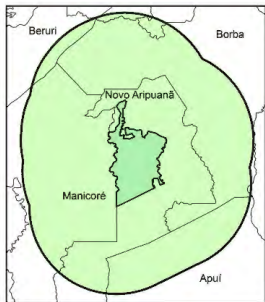
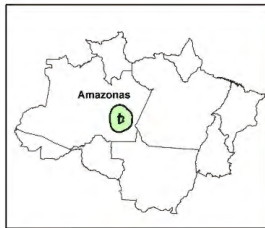
Dados de entrada	Fonte	Descrição dos métodos
Mapa de cobertura da terra (2003 e 2008) *	PRODES (INPE, 2010)	O mapa (2003) foi elaborado a partir da reclassificação de dados da tabela de atributos do mosaico do Amazonas (2008). Assim, o desmatamento acumulado até 2003 foi agrupado em uma única classe (desmatamento). O desmatamento que ocorreu após 2003 foi agrupado com a classe “floresta”. A mesma metodologia foi usada para construir o mapa de cobertura da terra de 2008. O mapeamento da vegetação secundária foi feito usando a metodologia desenvolvida por Graça e Yanai (2008). Posteriormente, a classe “vegetação secundária” foi incorporada no mapa categórico de cobertura da terra por meio do uso de expressões algébricas no DINAMICA EGO (Fig. S2).
Mapa de variáveis estáticas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Distância aos rios (PRODES); ▪ Altitude e Declividade (SRTM); ▪ Vegetação e Solo (IBGE); ▪ Áreas protegidas (SDS, Greenpeace e ISA); ▪ Distância as estradas principais e secundárias (atualizada a partir do mapa de estradas do CSR/UFMG); 	O operador “ <i>create cube map</i> ” foi usado para compilar esses diferentes mapas em um único arquivo. O cálculo de distância no DINAMICA EGO é feito por um “ <i>functor</i> ”, o qual recebe como entrada um mapa categórico e produz um mapa com faixas de distância (distância mais curta) entre as células de cada classe (Soares-Filho et al., 2009).
Mapa de fricção e atratividade	Neste estudo, as áreas de floresta sem reservas foram susceptíveis a construção de estradas, seguido das reservas de uso sustentável, reservas de proteção integral e terras indígenas.	O mapa de fricção é usado para obter o percurso de menor custo para a construção de novas estradas. O custo é proporcional ao valor da célula. O mapa de atratividade auxilia o cálculo das células destinos para a construção de estradas de acordo com as medidas de atração determinadas no mapa de atratividade (Soares-Filho et al., 2004, 2006, 2009). Esses mapas auxiliam o desempenho do módulo construtor de estradas. Assim, as estradas são automaticamente simuladas de acordo com o nível de atratividade e do custo para sua construção.

* O mapa de 2003 foi usado na calibração e o mapa de 2008 na simulação dos cenários até 2050.

Tabela 2. Equações usadas neste estudo.

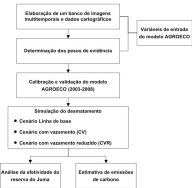
Taxas	Equações e valores usados
Desmatamento_{ano}*	$= \frac{(SFF_{ano} \times 0,02333) + (Floresta\ Fora\ da\ SFF_{ano} \times 0,00023604)}{(SFF_{ano} + Floresta\ Fora\ da\ SFF_{ano})}$
Regeneração_{ano}*	Constante = 0,0134
Corte da vegetação secundária_{ano}*	Constante = 0,125
Taxa sem vazamento_{ano}	$= \frac{(Células\ de\ corte\ da\ floresta\ (CV)_{ano} - Células\ vazadas_{ano})}{(Células\ de\ floresta\ (CV)_{ano} + Células\ vazadas_{ano})}$
Desmatamento_{ano} para CVR*	= Desmatamento taxa _{ano} - 0,000156

*Equações inseridas no programa Vensim.



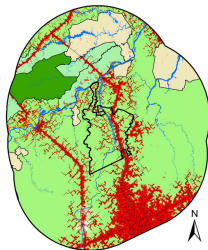
Projeção:
UTM Zona 20S – Datum WGS1984





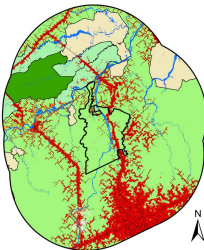
Cenário linha de base

2050



Cenário com vazamento

2050



Cenário com vazamento reduzido

2050

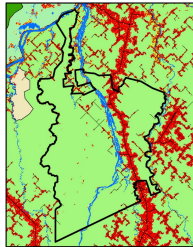
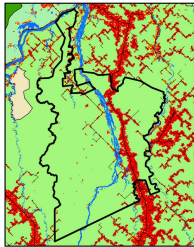
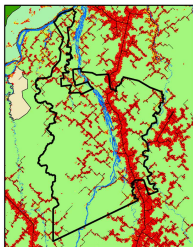
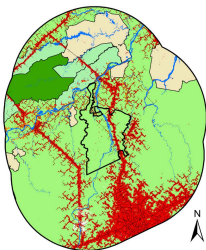
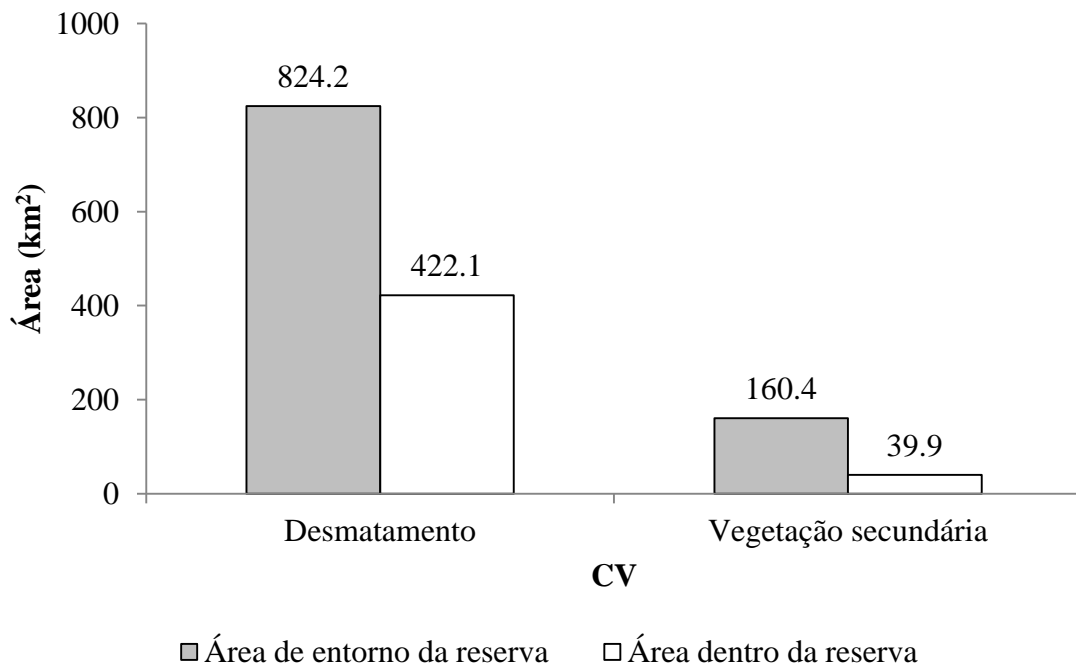
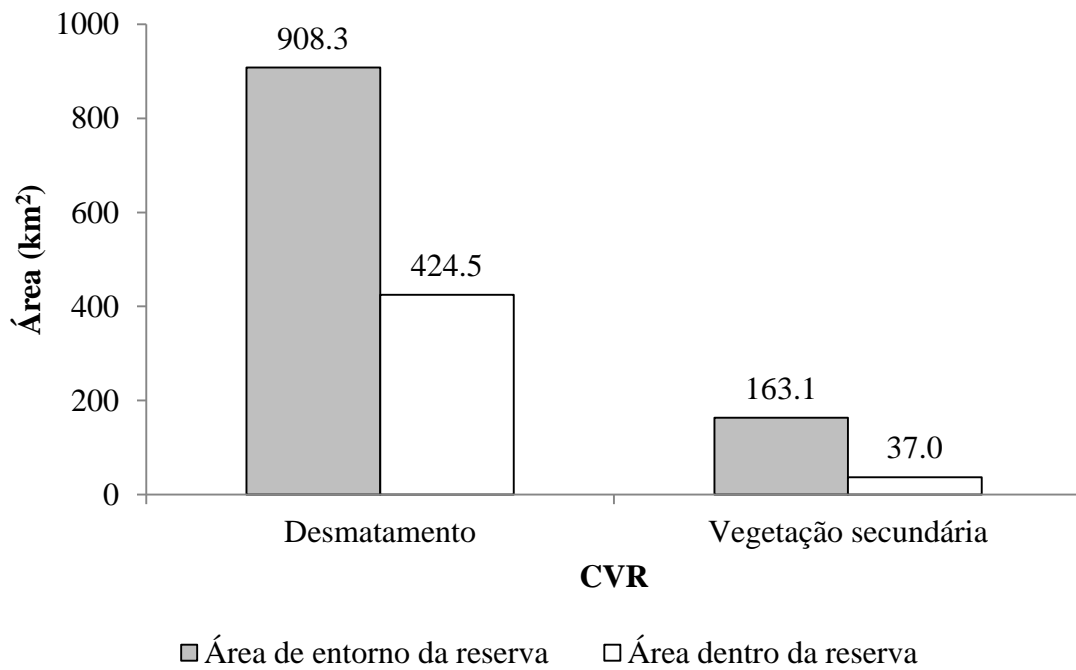


Fig.4

(a)



(b)



(c)

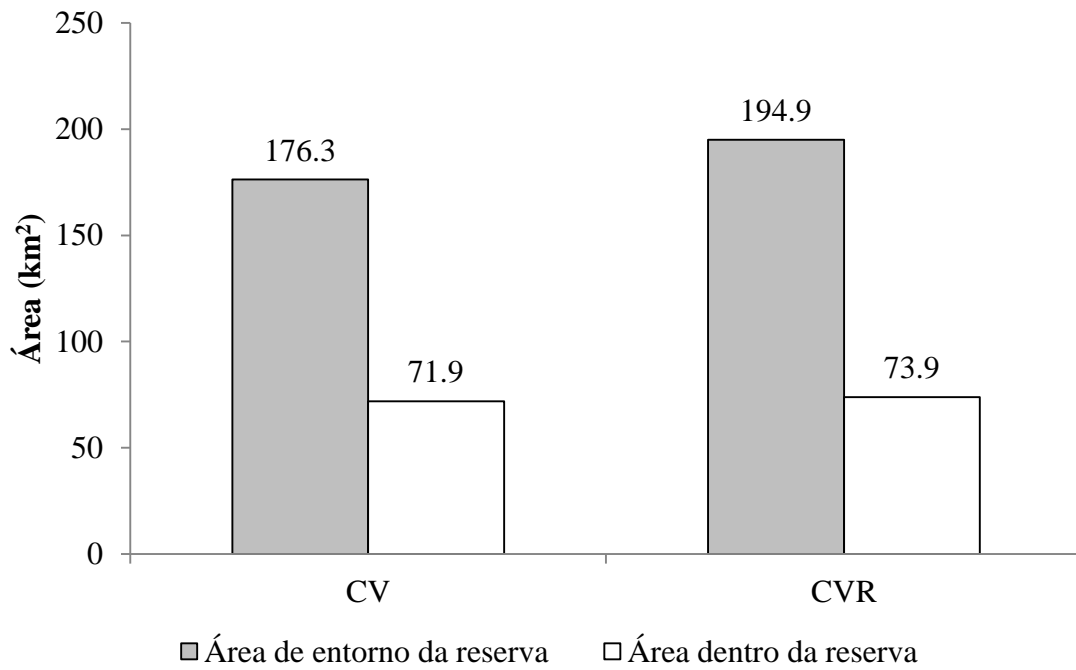


Fig. 5

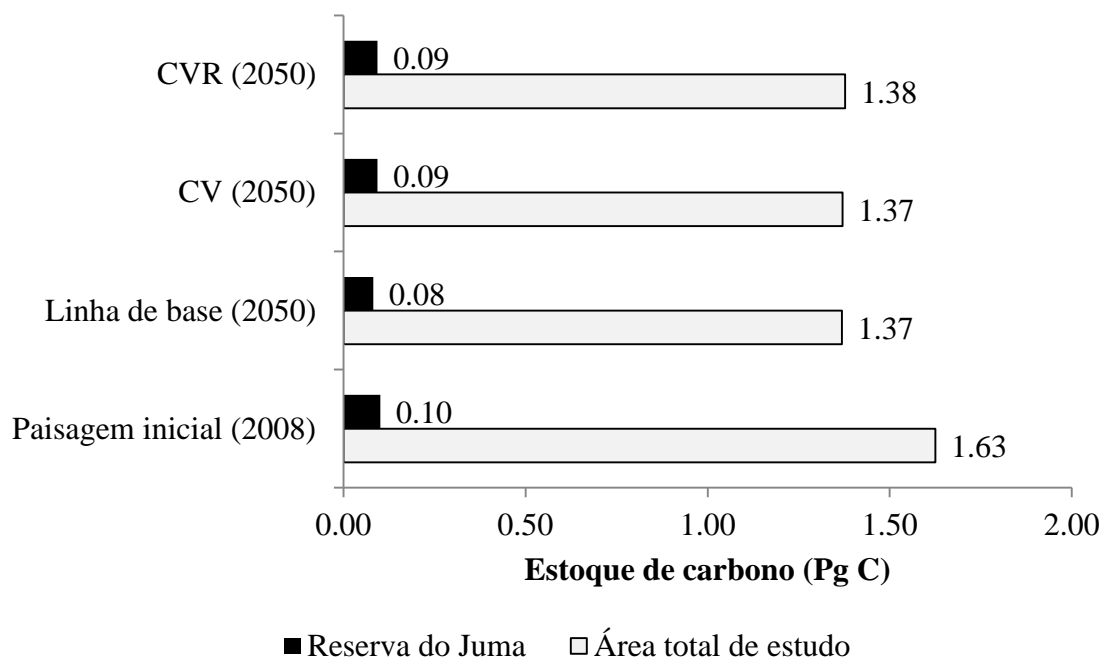
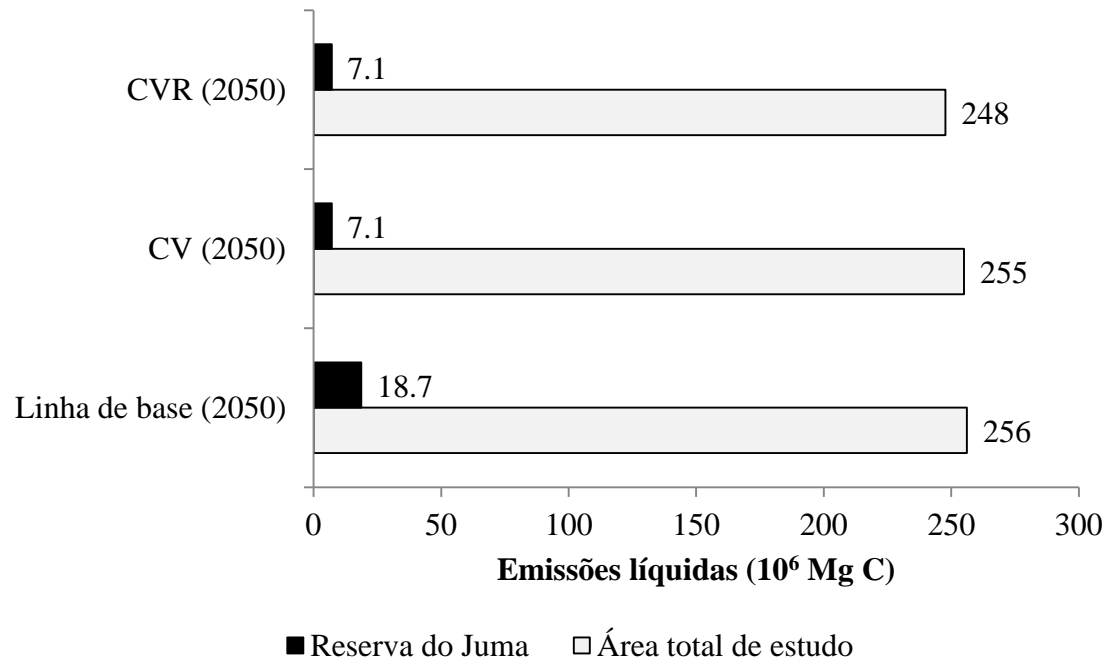
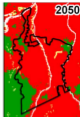
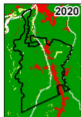


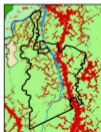
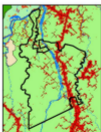
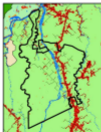
Fig. 6





Reserva do Juma
Desmatamento

Floresta
Não Floresta



Reserva do Juma
Estradas

Reserva de Proteção Integral
Reserva de Uso Sustentável

Terra Indígena
Floresta

Desmatamento
Vegetação secundária

Hidrografia

1 **Material Suplementar**

2

3 **Desmatamento evitado na Amazônia Brasileira: Simulação do efeito da Reserva de**
4 **Desenvolvimento Sustentável do Juma**

5

6 **Aurora Miho Yanai^a, Philip Martin Fearnside^a, Paulo Maurício Lima de**
7 **Alencastro Graça^a; Euler Melo Nogueira^a**

8

9 ^a Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, Av. André Araújo, N^o 2936,
10 CEP 69060-000, Manaus, Amazonas, Brasil.

11

12 Tel.: +55 92 3643 1822; fax: +55 92 3642 8909.

13 E-mail: {yanai, pmfearn, pmlag, euler}@inpa.gov.br

14

15

16 *S1. Escolha do intervalo de tempo no modelo de calibração*

17

18 Para uma simulação de 42 anos, o período (2003-2008) usado para calibrar o
19 modelo foi limitado. Isso implica em incertezas nos resultados simulados,
20 principalmente para os últimos anos da simulação. Os dados de desmatamento estão
21 disponíveis a partir de 2000, mas as taxas de desmatamento anteriores a 2000 para a
22 área de estudo foram muito baixas devido a sua localização isolada. A calibração
23 poderia ter começado em 2000 ao invés de 2003, mas os resultados seriam praticamente
24 iguais ao período que nós escolhemos. A média da taxa de desmatamento (expressa
25 como uma proporção de floresta cortada anualmente) para a reserva do Juma foi uma
26 constante de 0,0003 para o período de 2008 iniciando em 2000, 2001, 2002, ou 2003.
27 Para a área de estudo total a média anual das taxas foram 0,0011 de 2000-2008; 0,0012
28 de 2001-2008; 0,0013 de 2002-2008 e 0,0015 de 2003-2008.

29

30 *S.2. Independência das variáveis no método de pesos de evidência*

31

32 De acordo com a nossa experiência, e de outros que estudaram o desmatamento
33 na Amazônia, as atividades preditoras do desmatamento mais significativas são à
34 distância as áreas previamente desmatadas e a distância as estradas (e.g., Laurance et al.,
35 2002; Ferreira et al., 2005; Soares-Filho et al., 2004). Essas variáveis são altamente
36 correlacionadas, pois a maior parte do desmatamento ocorre próxima às estradas.
37 Entretanto, na Amazônia a construção de novas estradas em áreas sem a existência de
38 desmatamento representa uma característica importante para o processo geral. Essas
39 novas estradas influenciam o desmatamento e são independentes do efeito do
40 desmatamento prévio, portanto, devem ser incluídos no modelo para alcançar resultados
41 realísticos. À distância as estradas são representadas por duas variáveis: estradas
42 principais e estradas secundárias. Para áreas que têm estradas e desmatamento prévio, a
43 inclusão das variáveis distâncias a estradas e ao desmatamento aumentará o peso devido
44 o seu efeito conjunto. Esse peso elevado resulta na simulação de desmatamento de
45 forma concentrada ao longo das estradas, refletindo o padrão do desmatamento real na
46 região. Em outras situações onde os pesos de evidência são usados, tais como,
47 prospecção de minerais, esse efeito elevado deve ser evitado (e.g., Agterberg e Cheng,
48 2002). No desenvolvimento do modelo AGROECO (Fearnside et al., 2009) a tentativa
49 de rodar sem esses pesos como efeito nas estradas e no desmatamento prévio encontrou-
50 se um resultado com padrão de desmatamento difuso de “pipoca” demonstrando
51 claramente não é o padrão normal no mundo real. Desta forma, essas variáveis foram
52 incluídas no nosso modelo baseados na decisão *a priori*. A comparação de pares entre
53 “estradas principais” e “estradas todas” demonstrou alguma correlação (índice de
54 Cramer = 0,63; Incerteza da informação conjunta = 0,53). Para “solo” e “vegetação” o
55 valor do índice de Cramer (0,46) indicou alguma correlação, já o valor da Incerteza da
56 informação conjunta foi de apenas 0,16. No caso das outras variáveis, a independência
57 condicional foi obedecida. Os pesos de evidência influenciam somente a locação do
58 desmatamento, não a quantidade do desmatamento.

59

60 *S.3. Validação do modelo usando a similaridade fuzzy*

61

62 O valor de similaridade *fuzzy* mínima encontrada no presente estudo (73,8% para
63 um tamanho de janela de 11×11 pixels) é aceitável, pois a ideia de usar esse
64 procedimento consiste em não descartar modelos que, apesar de não combinarem

65 exatamente numa comparação célula-a-célula, apresentam uma boa aproximação
66 espacial nas células vizinhas (Soares-Filho et al., 2002). Além disso, algumas feições
67 reais de desmatamento, como aquelas produzidas por fazendeiros não podem ser
68 reproduzidos na simulação, pois alguns tipos de manchas geométricas não podem ser
69 replicados pelas funções de transição disponíveis atualmente no DINAMICA EGO
70 (Ximenes et al., 2011).

71 Outros estudos na região Amazônica usaram a similaridade *fuzzy* para validar
72 modelos no DINAMICA EGO. Ximenes et al. (2011) encontraram um índice de
73 similaridade *fuzzy* de 90,4% (11×11 pixels) usando um período de três anos (1997-
74 2000) e com uma resolução espacial de 120 m no município de São Felix do Xingu
75 (estado do Pará) e área de entorno. A aproximação espacial com as células vizinhas
76 (tamanho da janela) foi maior, pois somente a função *expander* foi utilizada no modelo.
77 Maeda et al. (2011) simularam a expansão de atividades agropecuária na margem da
78 bacia hidrográfica do Parque Nacional do Xingu no nordeste do Mato Grosso.

79 Esses autores calibraram o modelo usando um período de cinco anos (2000-
80 2005) e tamanho de pixel de 100m. Eles encontraram uma similaridade *fuzzy* mínima de
81 aproximadamente 45% (11×11 pixels). Esse estudo utilizou o mesmo período de
82 tempo que o nosso estudo. Ramirez-Gomez (2011) encontrou um valor de similaridade
83 *fuzzy* similar ao obtido no nosso estudo. Esse autor avaliou a influência de fatores
84 ambientais na mudança de cobertura da terra no leste do Suriname usando um modelo
85 espacial de desmatamento. A resolução espacial utilizada foi de 30 m. O valor de 74%
86 foi obtido na similaridade *fuzzy* utilizando um período de quatro anos (2005-2009) com
87 um tamanho de janela de 11×11 pixels.

88

89 S.4. Incertezas nas emissões de carbono nos cenários projetados

90

91 Estimativas de biomassa e de emissões de gases do efeito estufa têm incertezas
92 consideráveis, e a magnitude desta incerteza não foi quantificada completamente. Isto é
93 um fato para todas (enfatizamos: todas) as estimativas em florestas tropicais. Entretanto,
94 acreditamos que nossas estimativas são mais confiáveis do que outras disponíveis na
95 literatura devido o grande volume de parcelas medidas de 1 ha de floresta
96 (aproximadamente 3.000 parcelas em florestas na Amazônia Brasileira), versus, por
97 exemplo, menos de 90 parcelas dessa floresta no estudo feito por Saatchi et al. (2007).
98 Para árvores com diâmetro à altura do peito (1,3 m acima do solo ou acima da
99 sapopema) maior ou igual a 31,8 cm, a estimativa do volume do fuste da madeira tem
100 um coeficiente de variação (cv) de 0,18 nos tipos florestais que correspondem a 69% do
101 volume de madeira na área de estudo (floresta ombrófila densa de terras baixas), e a
102 faixa de 0,18 a 0,24 para os cinco tipos florestais que correspondem a 99% do volume
103 de madeira, com a média ponderada de 0.19 (baseado em 2.077 parcelas nesses tipos de
104 floresta).

105

106 Para a reserva do Juma os resultados são similares: a floresta ombrófila densa de
107 terras baixas (cv = 0,18) representa 73% do volume da madeira e três tipos florestais
108 que representam 99% do volume tem coeficiente de variação na faixa de 0,18 a 0,24
109 com a média ponderada de 0,19 baseado em 1.194 parcelas desses tipos florestais. O
110 multiplicador de conversão desses volumes de madeira em biomassa total, tais como,
111 densidade da madeira, teor de água, a contribuição de árvores menores que o diâmetro
112 mínimo do inventário, ajuste para as diferenças alométricas regionais das equações
113 utilizada para os dados de volume relatados no inventário do RADAMBRASIL,
114 biomassa da copa, raízes, componentes não-arbóreos, biomassa morta (necromassa),

115 palmeiras, lianas e outros componentes não-arbóreo têm incertezas substanciais. Nossas
116 estimativas têm um número de feições que asseguram uma incerteza menor em relação
117 a outras estimativas de biomassa na Amazônia. Nossas estimativas incluem ajustes
118 baseados em equações alométricas e dados de densidade da madeira de uma região
119 específica associados com o volume de quase todas as espécies de árvores relatadas no
120 inventário do RADAMBRASIL. Nós também temos medidas de biomassa de copa em
121 função da biomassa do fuste de uma região específica, bem como medidas de teor de
122 água na madeira (e.g., Nogueira et al., 2007, 2008a). Assim como em outros estudos,
123 nós utilizamos fontes da literatura para componentes como raízes, biomassa morta
124 (necromassa), palmeiras, lianas e outro componentes não-arbóreos (Nogueira et al.,
125 2008b: Tabela 1).

126

127 **References**

128

129 Agterberg, F.P., Cheng, Q., 2002. Conditional independence test for weights-of-
130 evidence modeling. *Natural Resource Research* 11, 249-255.

131

132 Fearnside, P.M., Graça, P.M.L.A., Keizer, E.W.H., Maldonado, F.D., Barbosa, R.I.,
133 Nogueira, E.M., 2009. Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito
134 estufa na região sob influência da Rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). *Revista*
135 *Brasileira de Meteorologia* 24, 208-233. English translation available at:
136 <http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/mss%20and%20in%20press/RBMET-BR-319_-engl.pdf>

137

138 Ferreira, L.V., Venticinque, E., Almeida, S., 2005. O desmatamento na Amazônia e a
139 importância das áreas protegidas. *Estudos Avançados* 19, 157-166.

140

141 Laurance, W.F., Albernaz, A.K.M., Schroth, G., Fearnside, P.M., Bergen, S.,
142 Venticinque, E.M., Costa, C., 2002. Predictors of Deforestation in the Brazilian
143 Amazon. *Journal of Biogeography* 29, 737-748.

144

145 Maeda, E.E., Almeida, C.M., Ximenes, A.C., Formaggio, A.R., Simabukuro, Y.E.,
146 Pellikka, P., 2011. Dynamic modeling of Forest conversion: Simulation of past and
147 future scenarios of rural activities expansion in the fringes of the Xingu National Park,
148 Brazilian Amazon. *International Journal of Applied Earth Observation and*
149 *Geoinformation* 13, 435-446.

150

151 Nogueira, E.M., Fearnside, P.M., Nelson, B.W., 2008a. Normalization of wood density
152 in biomass estimates of Amazon forests. *Forest Ecology and Management* 256, 990-
153 996.

154

155 Nogueira, E.M., Fearnside, P.M., Nelson, B.W., Barbosa, R.I., Keizer, E.W.H., 2008b.
156 Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and
157 adjustments to biomass from wood-volume inventories. *Forest Ecology and*
158 *Management* 256, 1853-1867.

159

160 Nogueira, E.M., Fearnside, P.M., Nelson, B.W., França, M.B. 2007. Wood density in
161 forests of Brazil's 'arc of deforestation': Implications for biomass and flux of carbon
162 from land-use change in Amazonia. *Forest Ecology and Management* 248, 119-135.

163

- 164 Ramirez-Gomez, S.O., 2011. Spatial drivers of deforestation in Suriname. Center for
165 Agriculture Research in Suriname (CELOS). Tropenbos, Paramaribo, Suriname. 42 pp.
166
- 167 Saatchi, S.S., Houghton, R.A., Dos Santos Alvala, R.C., Soares, J.V., Yu, Y. 2007.
168 Distribution of aboveground live biomass in the Amazon Basin. *Global Change Biology*
169 13, 816-837.
170
- 171 Soares-Filho, B.S., Pennachin, C.L., Cerqueira, G.C., 2002. DINAMICA – a stochastic
172 cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian
173 colonization frontier. *Ecological Modelling* 154, 217-235.
174
- 175 Soares-Filho, B.S., Alencar, A., Nepstad, D., Cerqueira, G.C., Vera Diaz, M., Rivero,
176 S., Solórzano, L., Voll, E., 2004. Simulating the response of land-cover changes to road
177 paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor.
178 *Global Change Biology* 10, 745-764.
179
- 180 Ximenes, A.C., Almeida, C., Amaral, S., Escada, M.I.S., Aguiar, A.P.D., 2011. Spatial
181 Dynamic Modeling of Deforestation in the Amazon, in: Alejandro Salcido. (Ed.).
182 Cellular Automata - Simplicity Behind Complexity. Vienna, Austria: InTech, pp.47-66.
183
184

185 **Figure Legends**

186

187 **Fig. S1.** Flowchart of the AGROECO model.

188

189 **Fig. S2.** Maps of land cover in the calibration stage (2003) and in the simulation of the
190 scenarios considered in the study (2008).

191

192 **Fig. S3.** Result of the validation comparing the real and simulated maps for 2008.

193

194 **Fig. S4.** Baseline scenario simulated landscape in 2100: total study area (left panel) and
195 Juma reserve (right panel).

196

Tabela S1

Área desmatada e área de floresta dentro e fora da Superfície de Floresta Fundiária (SFF) usadas para o cálculo da taxa de desmatamento.

Área	Ano	Desmatamento	Floresta	Média (ha)
		Área (ha)	Área (ha)	
Dentro da SFF	2003	120.800	481.925	509.638
<i>(buffer de 2-km das estradas)</i>	2008	180.263	537.350	
Fora da SFF	2003	65.088	8.768.125	8.706.150
(floresta remanescente excluindo a SFF)	2008	75.363	8.644.175	

Tabela S2

Porcentagem de erro entre o número de células no mapa real e simulado (PRODES 2008).

Classe	2008		% erro
	Mapa real - PRODES (células)	Mapa simulado (células)	
Floresta	1.473.485	1.471.491	0,14%
Desmatamento	40.900	42.839	4,74%
Vegetação secundária	4.129	4.184	1,33%

Tabela S3

Área (km²) de floresta total, desmatamento acumulado e vegetação secundária no mapa inicial (2008) e final (2050) nos três cenários para a área total de estudo.

Área de estudo (Classe)	PRODES	Linha de base	Cenário com vazamento (CV)	Cenário com vazamento reduzido (CVR)
	2008 (km ²)	2050 (km ²)	2050 (km ²)	2050 (km ²)
Floresta	92.092,8	77.397,8	77.445,6	77.874,3
Desmatamento acumulado[†]	2.556,3	16.181,2	16.143,2	15.748,5
Vegetação secundária	258,1	1.328,2	1.318,4	1.284,3

[†] O desmatamento acumulado não inclui a vegetação secundária mapeada. Nos mapas simulados, a classe “desmatamento” inclui áreas desmatadas tanto por corte da floresta quanto por corte da vegetação secundária.

Tabela S4

Área (km²) de floresta total, desmatamento acumulado e vegetação secundária no mapa inicial (2008) e final (2050) nos três cenários para a área da reserva do Juma.

Reserva do Juma (Classe)	PRODES	Linha de base	Cenário com vazamento (CV)	Cenário com vazamento reduzido (CVR)
	2008 (km ²)	2050 (km ²)	2050 (km ²)	2050 (km ²)
Floresta	5.573,9	4.521,5	5.179,0	5.179,5
Desmatamento acumulado†	64,8	984,7	422,1	424,5
Vegetação secundária	2,3	134,8	39,9	37,0

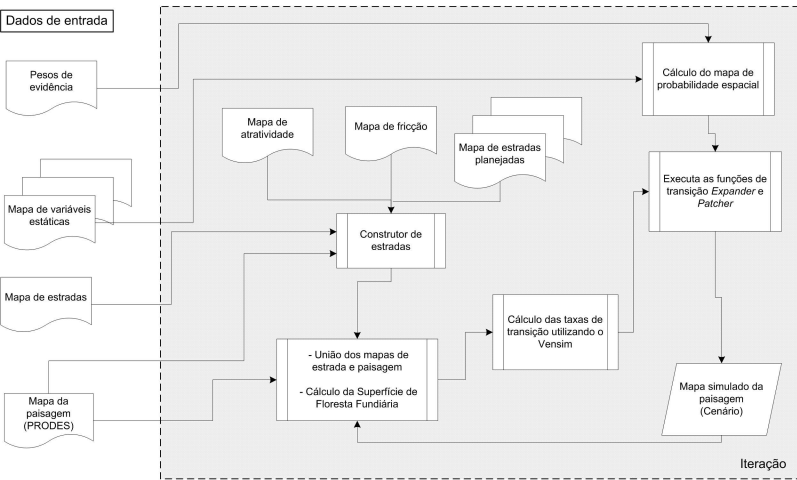
†O desmatamento acumulado não inclui a vegetação secundária mapeada. Nos mapas simulados, a classe “desmatamento” inclui áreas desmatadas tanto por corte da floresta quanto por corte da vegetação secundária.

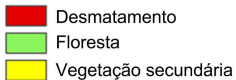
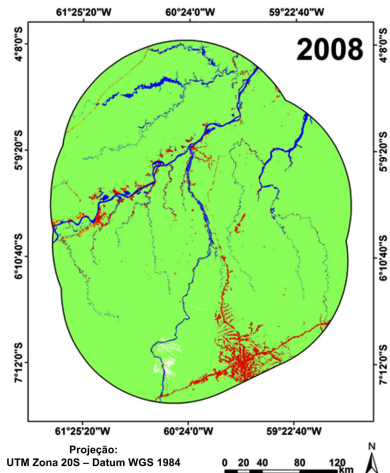
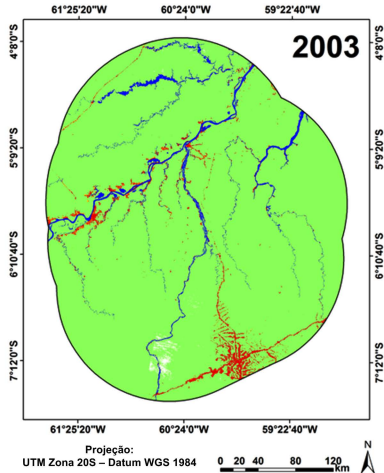
Tabela S5

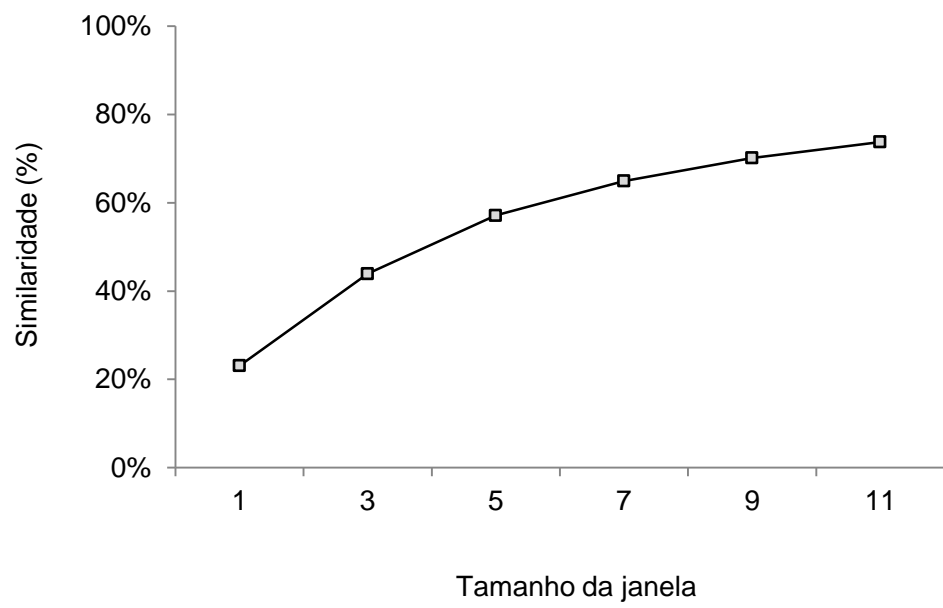
Análise do percentual de vazamento simulado no cenário com vazamento (CV) e o cenário com vazamento reduzido (CVR).

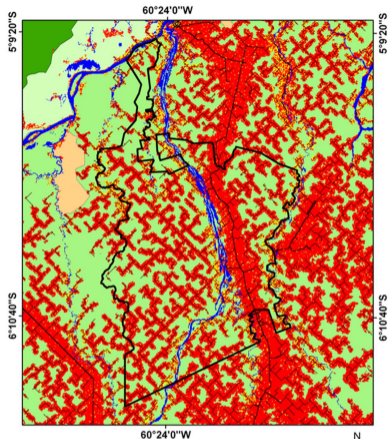
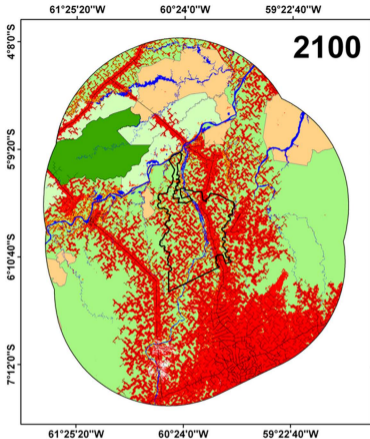
Classes (células) [†]		Cenários – 2050 (células)				
		Linha de base	CV	CVR	100% de vazamento (Linha de base – CV)	
Dentro da reserva do Juma	Floresta	72.344	82.864	82.872	-10.520	
	Desmatamento	15.755	6.753	6.792	9.002	
	Veg. Secundária	2.157	639	592	1.518	
					Cenário com vazamento (CV)	Cenário com vazamento reduzido (CVR)
Fora da reserva do Juma	Floresta	1.166.020	1.156.265	1.163.117	9.755 (92,7%)	2.903 (27,6%)
	Desmatamento	243.144	251.538	245.184	8.394	2.040
	Veg. Secundária	19.094	20.455	19.957	1.361	863

[†] A resolução espacial de uma célula é de 250 m (1 célula = 0,0625 km²).

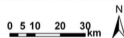
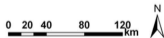








Projeção:
UTM Zona 20S – Datum WGS 1984



Área de estudo

Reserva do Juma

Estradas

Reserva de Uso Sustentável

Reserva de Proteção Integral

Terra Indígena

Desmatamento

Floresta

Vegetação secundária

Hidrografia

Nuvem