

Estimativa de emissão de gases de efeito estufa em Roraima (2011 a 2050): o efeito da reconstrução da BR-319 nas fitofisionomias florestais

Paulo Eduardo Barni ¹
Reinaldo Imbrozio Barbosa ²
Antonio Ocimar Manzi ³

¹ Universidade Estadual de Roraima – UERR
Av. Senador H. Campos, s/n - 69373-000 - Campus de Rorainópolis – RR – Brasil

² Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Rua Coronel Pinto 315 - 69301-150 - Boa Vista, Roraima – Brasil

³ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA
Av. André Araújo, 2936, Aleixo - 69060-001 - Manaus – AM – Brasil

{paulinpa2007, aomanzi, imbrozio}@gmail.com

Abstract. The low governance and the history of migration cycles followed by disorderly land occupation lead us to believe that the reconstruction of the BR-319 (Manaus-AM/Porto Velho-RO), provided by the Brazilian Program to Accelerate the Development (PAC), could trigger a new human migratory cycle leading to increase to GHG emissions in the state of Roraima. Additionally, the relative isolation of Roraima from other regions of Brazil and the low population density has provoked a repressed demand for deforestation in the two main phytophysionomic groups of the State (Ecotone and Ombrophilous). The aim of this study was to delineate two future scenarios of deforestation and calculate the GHG emissions in Roraima (2011 - 2050) using a land use model to estimate the impact of the reconstruction of the BR-319 in the GHG emissions (Business As Usual scenario - MT-BAU) compared with the other scenario using the premise of the effectuation of commitment made by the Brazil at the Conference of the Parties (COP) 15 (scenario Governance MT-GOV). The main forest groups will be considered in the analysis. The impact of the reconstruction of the BR-319 was estimated at 114.4×10^6 Mg of GHG emissions up to 2050. The forest groups positively affect GHG emissions in Roraima, indicating that distinctions should be considered in future estimates of GHG emissions in the Amazon where are observed different regional configurations. Public authorities should draw up measures to prevent high deforestation rates and GHG emissions in Roraima, if the deployment plan of the BR-319 be finalized.

1. Introdução

Estimativas de emissões de Gases de Efeito Estufa – GEE para atmosfera por mudança de uso e cobertura da terra vêm crescendo em importância no contexto mundial desde a Eco-92 e a subsequente assinatura do protocolo de Kyoto em 1997 (Aguiar et al. 2012). Dentro desta perspectiva, programas como o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL e, mais recentemente, o de Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação da floresta – REDD vem sendo usados como forma de compensar os países em desenvolvimento por emissões evitadas de carbono para a atmosfera, com o intuito de mitigar os efeitos das mudanças climáticas (Nepstad et al. 2011). No caso dos projetos de REDD, os dados precisam ser compatíveis na escala local para serem implementados. Portanto, a melhoria das estimativas de emissões de GEE é de fundamental importância para a mitigação e adaptação do Brasil aos efeitos do aquecimento global e das mudanças climáticas globais (Brasil-MCT 2010).

Um importante passo foi dado pelo Brasil em 2009 na Conferência das Partes (COP) 15, em Copenhague, Dinamarca, no sentido de diminuir suas emissões. Na ocasião o Brasil se comprometeu, voluntariamente, a diminuir as emissões em 34-36% até 2020, tomando como base a média das emissões observadas até 2005 (Brasil-MCT 2010). Para efetivação dessas metas seria necessário diminuir em cerca de 80% as emissões de GEE por desmatamento na Amazônia, principal emissora desses gases, em igual período. Nesse caso, todos os estados da

região amazônica deveriam envidar esforços para alcançar as metas definidas pelo governo federal.

O Estado de Roraima, nosso estudo de caso, localiza-se no extremo norte da Amazônia Brasileira e possui grande parte do seu território localizado acima da linha equatorial. Esta distribuição territorial forma um gradiente que varia de (i) áreas de florestas de menor umidade e de dossel aberto, ocupadas por ambientes de contato e estacionais (grupo ecótono) situadas em uma faixa que contorna a grande área de savana localizada no nordeste do Estado; e (ii) áreas mais úmidas ocupadas por florestas ombrófilas e campinaranas (grupo ombrófila) situadas no centro-sul e sudoeste do estado. Ambos os grupos florestais são afetados por desmatamento, fogos florestais e extração seletiva de madeira, devido à grande sobreposição aos Projetos de Assentamento (PAs) localizados ao longo dos grandes eixos rodoviários do Estado (Figura 1).

Devido ao relativo isolamento do Estado do restante do Brasil e a baixa densidade populacional, a dinâmica de desmatamento e a consequente emissão de GEE ainda se encontram de certa forma reprimidas (Barni et al. 2012). A baixa governabilidade e o histórico de repetidos ciclos de migração (Diniz e Santos 2005) seguidos da ocupação desordenada da terra (Barni et al. 2012) fazem crer que a reconstrução e o asfaltamento da BR-319, ligando Manaus-AM a Porto Velho-RO, previstos pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), poderá provocar aumento das emissões de GEE no Estado (Fearnside e Graça 2009; Barni et al. 2012). Levando em consideração o contexto das distinções regionais de ocupação humana em áreas de ecótono e ombrófila (Barni 2014), é esperado que esses dois grupos florestais também apresentem dinâmicas de emissões de GEE diferentes entre si.

O objetivo desse estudo foi estimar a emissão de GEE (CO₂, CH₄ e N₂O: IPCC 2006) utilizando dois cenários de simulação futura de desmatamento em Roraima de 2011 a 2050 em um modelo de uso da terra implementado no *software* Dinamica-EGO (Soares-Filho 2013). O efeito regional dos grupos florestais é avaliado tendo como base o impacto da reconstrução da BR-319 nas emissões de GEE (cenário *Business as usual* (MT-BAU)) em comparação com o cenário de governança (MT-GOV). Este último tendo como premissa a efetivação do compromisso assumido pelo Brasil na COP 15 de redução das emissões em 2020.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde a uma faixa de floresta posicionada no sentido norte/sul de Roraima, excluindo-se áreas protegidas (AP = Terras Indígenas e Unidades de Conservação), de savana do nordeste do estado e não florestais (campinas = sistemas oligotróficos) da calha do rio Branco, centro sul do estado (Figura 1). Esta área engloba a maior parte dos PAs situados ao longo dos principais eixos rodoviários (BR-174 e BR-210), possuindo 92,1 x10³ km² ou ~41% da área total do Estado. As áreas de florestas ombrófilas (precipitação média anual entre 2000 a 2300 mm) e de ecótono (1700 a 2000 mm) representam 83,5% do total originalmente florestado na área de estudo e perfazem ~96% do desmatamento acumulado (3.056,0 km²) entre 2000 e 2010 (Barni 2014).

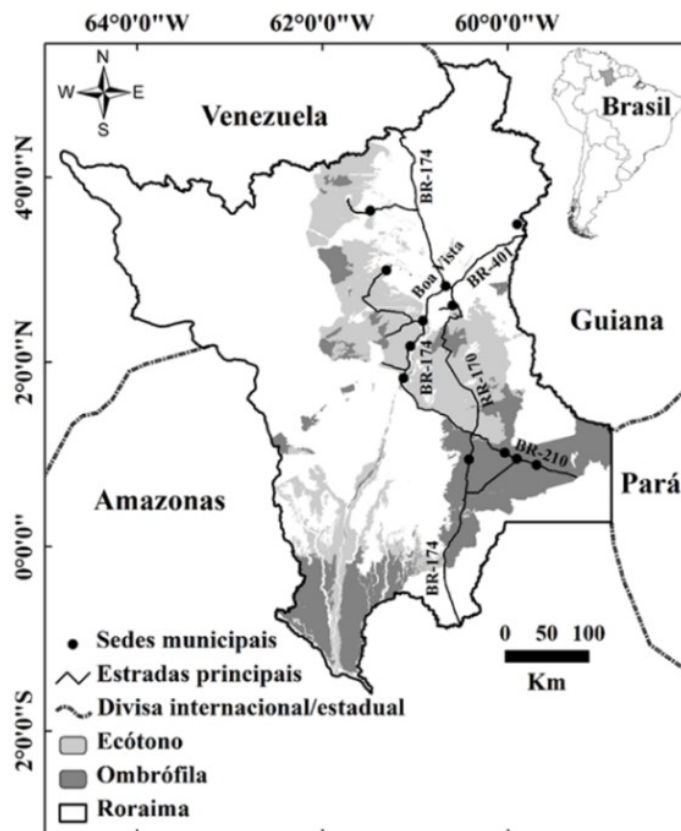


Figura 1 - Área de estudo representada pelos grupos de fitofisionomias florestais ecótono e ombrófila.

2.2 Premissas para os cenários e fases da pesquisa

As premissas de cada cenário simulado (MT-BAU e MT-GOV) são baseadas na forma de controle do desmatamento e em presunções de governança para Roraima entre 2011 e 2050 (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros e premissas para os cenários de desmatamento de 2011 a 2050.

Cenário	Modelagem explícita da vegetação secundária	Cálculo para as taxas de transição	Premissas aos cenários
MT-GOV	Sim (considera taxa de crescimento de 8,4 Mg de biomassa ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Matriz de transição	Prevê o controle do desmatamento (governança) entre 2020 e 2050 no nível de 20% da linha de base de 2005 conforme compromisso assumido pelo Brasil na COP 15
MT-BAU	Sim (considera taxa de crescimento de 8,4 Mg de biomassa ha ⁻¹ ano ⁻¹)	Matriz de transição	Prevê a reconstrução e asfaltamento da BR-319 em 2016. Em função disso, simula taxas de desmatamento 2 vezes maiores do que as observadas em Roraima no intervalo entre 2010 e 2013 para o intervalo entre 2017 e 2020. A governança é alcançada entre 2025 e 2050 no nível de 20% da linha de base de 2005 conforme compromisso assumido pelo Brasil na COP 15

O cálculo de emissões de GEE para o período avaliado seguiu três fases de trabalho partindo da construção dos mapas de desmatamento e incêndios florestais para o período anterior ao da modelagem (2000-2010), e da obtenção de estimativas da biomassa para cada fitofisionomia observada na área de estudo (Figura 2). Para as estimativas foi utilizado o *software* Dinamica-Ego (Soares-Filho 2013).

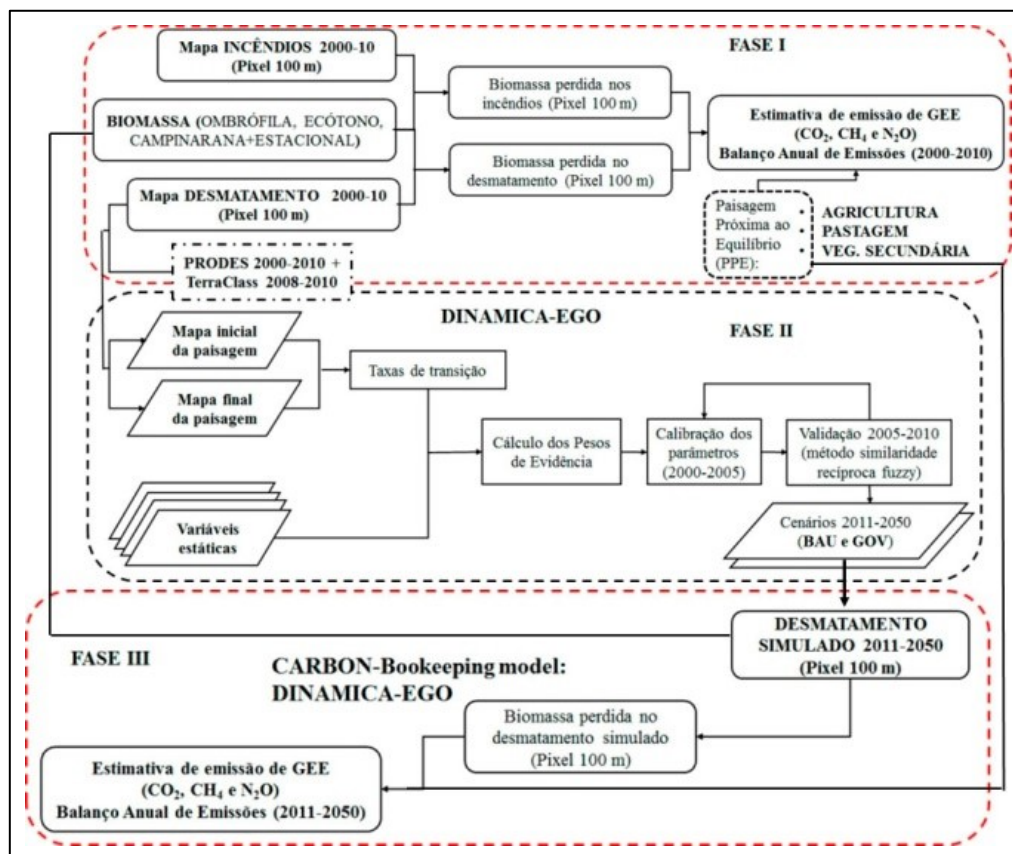


Figura 2. Fluxograma de execução das fases da pesquisa: Fase I (2000-2010) – destinada ao treinamento para a execução da modelagem (2011-2050), Fase II – aplicação do programa Dinamica-Ego e Fase III – aplicação do pacote *Carbon Bookeeping Model* do Dinâmica-Ego para estimar a emissão de GEE através do Balanço Anual.

O *software* Dinamica-Ego é uma plataforma de modelagem ambiental de linguagem dirigida a objeto e que incorpora o funcionamento do algoritmo do autômato celular. O autômato celular é constituído de elementos tais como, pixels (células), estados das células, regras de vizinhança e regras de transição. A probabilidade de transição de uma célula no estado (*i*: floresta) para outro estado (*j*: desmatamento), por exemplo, é determinada pelo estado das células vizinhas a essa célula (Yeh e Li 2006).

2.2.1 Dados espaciais de entrada do modelo

Na modelagem do desmatamento o Dinamica-Ego necessita de uma série de dados cartográficos que servem de entrada para o início da simulação. Esses mapas abrangeram toda a área de estudo e foram construídos utilizando o próprio *software*. A resolução espacial utilizada foi de 100 m (1 ha) e a projeção cartográfica foi UTM (*Universal Transverse Mercator*), Zona 20 Norte – WGS 1984. Para a simulação dos dois cenários foram utilizados os seguintes dados de entrada:

1. Mapas de classes de uso da terra do ano 2000, 2005 e 2010: classe floresta (valor 3), vegetação secundária (valor 2) e desmatamento (valor 1). Na confecção dos mapas de uso da

terra os desmatamentos de 2000 a 2010, obtidos a partir da interpretação visual de imagens TM Landsat (áreas desmatadas ≥ 1 ha) foram combinados com mapas de desmatamento acumulado do PRODES (Brasil-INPE 2013) para formar os mapas de desmatamento até 2000, depois até 2005 e por fim até 2010. A vegetação secundária proveniente do TerraClass (2013) foi incorporada aos mapas em um submodelo do Dinamica-Ego utilizando operadores lógicos. Após esses procedimentos os mapas foram utilizados para o cálculo das taxas de transição e dos pesos de evidência para a calibração dos modelos de simulação e posterior validação.

2. Mapas de variáveis estáticas: a) Altitude (SRTM: Brasil-Embrapa 2013); b) Declividade (derivado de dados SRTM); c) Solos (Brasil-IBGE 2013); d) Vegetação (Brasil-IBGE 2013); e) Terras Indígenas e Unidades de Conservação (Brasil-IBGE 2013); f) Distância a rios (Brasil-IBGE 2013); g) Distância a estradas secundárias (vicinais) (derivado de dados de malha viária de 1998 (Brasil-IBGE 2013) e atualizado pelo autor para 2010 a partir de imagens TM Landsat); h) Distância a estradas principais (Brasil-IBGE 2013); i) Distância aos Projetos de Assentamento (Brasil-INCRA 2007); j) Distância da savana (Derivado dos mapas do PRODES).

2.2.2 Cálculo dos Pesos de Evidência (PEV)

O cálculo dos PEV é baseado no método estatístico de probabilidade condicional (bayesiano) e é utilizado no Dinamica-Ego para determinar a probabilidade de uma célula mudar de um estado i (e.g. floresta) para outro estado j (e.g. desmatamento) dado uma determinada evidência baseadas nas classes do mapa de uso e cobertura da terra. Assim, os coeficientes dos pesos de evidência foram determinados a partir do cruzamento entre os mapas de variáveis estáticas e o mapa de uso da terra considerando-se intervalos discretos de distância nos mapas de variáveis contínuas (e.g., distância de estradas e de rios) e as classes nos mapas de variáveis categóricas (e.g., solos, vegetação).

2.2.3 Cálculo da matriz de transição para as taxas de mudança

As *taxas de transição* Floresta / Desmatamento foram derivadas dos mapas de uso da terra de 2000 e 2005 da área de estudo. Este período foi escolhido para que fosse possível fazer a validação num intervalo de tempo semelhante ao utilizado na calibração e que fosse representativo da dinâmica observada no intervalo de 2000 a 2010. A taxa de transição foi calculada em um submodelo do Dinamica-Ego a partir da Equação 1:

$$TTA_{(00-05)} = ((\text{Desmatamento}_{(2005)} - \text{Desmatamento}_{(2000)}) / \text{Floresta}_{(2000)}) / 5 \quad (1)$$

Onde $TTA_{(00-05)} = 0,00125$ é a Taxa de Transição Anual derivada entre os mapas de uso da terra de 2000 e 2005 e utilizada para a validação entre 2005 a 2010. As taxas para o período 2011 a 2050 foram calculadas conforme as premissas dos cenários objetivando alcançar a governança em 2020 (MT-GOV) e 2025 (MT-BAU) e foram passadas anualmente aos módulos *expander* e *patcher* por meio de tabelas acopladas ao modelo de simulação. As taxas de transição para a regeneração (Vegetação secundária) (1 \rightarrow 2: 0,0928) e o corte da vegetação secundária (2 \rightarrow 1: 0,083) foram derivadas entre os mapas de 2008 e 2010 de vegetação secundária do TerraClass (2013) e foram constantes durante a simulação.

2.2.4 Validação do modelo de simulação

Após o período de calibração (2000-2005) o modelo foi validado testando-se os ajustes obtidos nesta fase para o período de tempo de 2005 a 2010 (Soares-Filho 2013). Em seguida comparou-se o mapa simulado para o ano de 2010 com o mapa observado em 2010 pelo PRODES. Esse processo foi executado em um submodelo do Dinamica-Ego. A avaliação foi

feita aplicando-se o teste de *similaridade recíproca fuzzy* (Soares-Filho 2013) aplicada sobre o mapa observado e simulado. O método emprega múltiplas “janelas” de tamanhos crescentes de número de célula em uma matriz de vizinhança variando de 3 x 3 até 31 x 31 células na janela. O modelo alcançou índice de similaridade mínima de 50% em uma janela com resolução espacial de ~950 metros (Soares-Filho 2013).

2.3 Contabilidade das emissões de GEE pelos cenários simulados

Nesta fase do estudo foram utilizados os mesmos parâmetros empregados na modelagem das emissões de GEE entre 2000 e 2010 (Barni 2014), a partir da contabilidade das perdas de biomassa (Barni 2014) e carbono por desmatamento (queima + decomposição em 10 anos) derivando cada tipo de gás (CO₂, CH₄ e N₂O: IPCC 2006). Esse passo foi realizado de forma semi-automatizada utilizando um submodelo do Dinamica-Ego de contabilidade de carbono (Soares-Filho 2013). A partir desse submodelo foi criado um modelo que fornece as emissões de GEE do desmatamento simulado nos cenários já em Carbono (C) equivalente CO₂ aplicando o potencial de aquecimento global (*GWP₁₀₀*) para cada gás estufa (IPCC 2006).

3. Resultados e Discussão

As emissões totais de GEE por desmatamento (queima + decomposição) no período de 2011 a 2050 considerando o cenário MT-BAU foram estimadas em 260,6 x 10⁶ Mg C-CO₂ (incluindo carvão). As emissões relativas ao grupo florestal ecótono (140,4 x 10⁶ Mg C-CO₂) foram ~8% maiores do que as emissões do grupo florestal ombrófila (120,2 x 10⁶ Mg C-CO₂), mesmo este grupo desmatando área 24,2% menor do que o grupo ecótono (Tabela 2).

Tabela 2. Área desmatada (km²), emissão por cenário, por tipo de GEE (x 10⁶ Mg C-CO₂) e por grupo florestal em horizonte de 100 anos (*GWP*; IPCC 2006). Letras maiúsculas na linha indicam diferença significativa (Teste *t* para variâncias distintas: *p*<0,0000; α =0,05).

Cenário	ECÓTONO					OMBRÓFILA					Total geral C-CO ₂
	Área (km ²)	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total C-CO ₂	Área (km ²)	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total C-CO ₂	
MT-GOV	1.600,5	87,5	3,4	1,5	92,8 ^A	901,5	69,5	2,7	1,2	73,7 ^B	166,5
MT-BAU	2.406,9	132,4	5,2	2,2	140,4 ^A	1.469,9	113,4	4,4	1,9	120,2 ^B	260,6

Considerando a soma de todas as fontes de emissão no cenário MT-BAU, menos a regeneração, o balanço foi de 182,9 x 10⁶ Mg C-CO₂ em 2050 (Tabela 3). O impacto total da reconstrução e asfaltamento da BR-319 nas emissões de GEE em Roraima foi estimado em 114,4 x 10⁶ Mg C-CO₂, que é a diferença entre os dois cenários até 2050 (Tabela 3).

Tabela 3. Estimativa de emissão de GEE em Roraima (x 10⁶ Mg C-CO₂) de 2011 a 2050.

Fonte	MT-GOV	MT-BAU
Queima + Decomposição	184,9	274,9
Paisagem próxima ao equilíbrio	127,6	140,7
Corte da capoeira	140	151,3
Emissão Total	452,5	566,9
Regeneração	-346,9	-384
Balanço final	105,6	182,9

O cenário MT-GOV (Figura 3: A, C), simulando a aplicação de políticas públicas de inibição e controle do desmatamento em 2020, apresentou o menor balanço de emissões de GEE. Emissões evitadas contribuem para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas

globais (Nepstad et al., 2011). Por exemplo, com a adoção deste cenário pelo governo estadual como meta para redução das emissões de GEE, Roraima deixaria de emitir $114,4 \times 10^6$ Mg de C-CO₂ em relação ao cenário MT-BAU. O fator dois (2) usado para multiplicar as taxas de desmatamento supondo aumento na migração com a reconstrução da BR-319 (MT-BAU: Figura 3: B, D) pode ser considerado conservador se comparado, por exemplo, com o fator três (3) utilizado em outro estudo considerando o sul do estado de Roraima (Barni 2009).

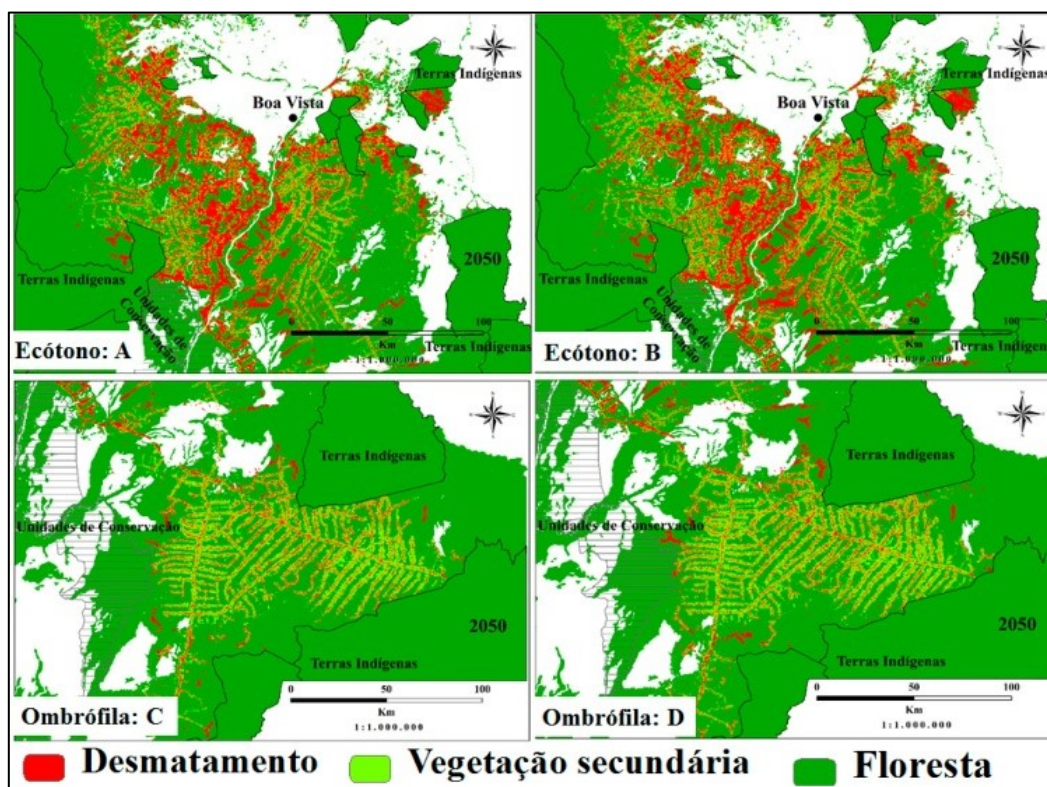


Figura 3 - Cenários MT-GOV (A e C) e MT-BAU (B e D) simulados em 2050. Em A e B (ecótono), a menor ocorrência de vegetação secundária pode ser atribuída à pressão exercida pela proximidade da capital Boa Vista e ao maior déficit hídrico dessa área, desfavorecendo a regeneração da biomassa florestal e favorecendo o manejo de pastagens e roças. Em C e D (ombrófila), a maior ocorrência de vegetação secundária pode ser explicada pela maior umidade, que favorece a regeneração da biomassa florestal e dificulta a manutenção das pastagens e roças.

4. Conclusões

Os grupos fitofisionômicos afetam as emissões de GEE em Roraima, devido à diferenciação no conteúdo de biomassa por unidade de área (Mg ha^{-1}) dos grupos ombrófila e ecótono (Barni 2014) e pela maior pressão exercida sobre a vegetação secundária no grupo ecótono. Distinções devem ser consideradas em futuras estimativas de emissões de GEE na Amazônia em locais onde se observam grupos florestais com distinta estrutura (vertical e horizontal) e composição de espécies. A reabertura e o asfaltamento da BR-319 afetarão positivamente as emissões de GEE em Roraima. Portanto, os poderes públicos local e federal devem elaborar medidas para evitar altas taxas de desmatamento e emissões de GEE em Roraima, caso o plano de implantação da BR-319 seja efetivado.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Universidade Estadual de Roraima (UERR), ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia,

ao Instituto Nacional de Ciência & Tecnologia dos Serviços Ambientais (CNPq – INCT/SERVAMB) e ao Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente (CLIAMB).

Referências

- Aguiar, A.P.D.; Ometto, J.P.; Nobre, C.; Lapola, D.M.; Almeida, C.; Vieira, I.; et al. Modeling the spatial and temporal heterogeneity of deforestation-driven carbon emissions: the INPE-EM framework applied to the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, 18: 3346-3366, 2012.
- Barni, P.E. **Reconstrução e asfaltamento da Rodovia BR-319: Efeito “dominó” pode elevar as taxas de desmatamento no Sul do Estado de Roraima. Brasil**. 2009. 136p. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia –INPA/Manaus, Amazonas. Dissertação de Mestrado. 2009. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/dinamica/community/paulo_barni.pdf>. Acesso em: 10.nov.2014
- Barni, P.E.; Fearnside, P.M.; Graça, P.M.L.A. Desmatamento no Sul do Estado de Roraima: padrões de distribuição em função de Projetos de Assentamento do INCRA e da distância das principais rodovias (BR-174 e BR-210). **Acta Amazonica**, 42: 195-204. 2012.
- Barni, P.E. **Cenários de emissões de gases de efeito estufa no Estado de Roraima, Brasil (2000 a 2050). 2014**. 170 p. il. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. Tese de doutorado. 2014. Disponível em: < http://www.csr.ufmg.br/dinamica/community/paulo_barni.pdf>. Acesso em: 10.nov.2014.
- Brasil, Embrapa. 2013. Brasil em Relevô. Disponível em: (<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/>). Acesso em: 19.set.2013.
- Brasil-IBGE, 2013. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapeamento_sistematico/base_vetorial_continua_escala_100mil/>. Acesso em: 25.set.2013.
- Brasil, INCRA. Diretoria de Obtenção de Terras e Implantação de Projetos de Assentamento – DT. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), Ministério do Desenvolvimento Agrário (MDA), Brasília, DF, Brasil. 2007.
- Brasil, INPE. 2013. Projeto PRODES – Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite. São José dos Campos, São Paulo, Brazil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>>. Acesso em: 20.mai.2013.
- Brasil, Ministério da Ciência e Tecnologia. 2010. Segunda Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Brasília, DF, 280 p. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0213/213909.pdf>. Acesso em: 13.mai.2010.
- Diniz, A.M.A.; Santos, R.O. O vertiginoso crescimento populacional de Roraima e seus impactos socioambientais. **Caderno de Geografia**, 15: 23-44. 2005.
- Fearnside, P.M; Graça, P.M.L.A. BR-319: A rodovia Manaus-Porto Velho e o impacto potencial de conectar o arco de desmatamento à Amazônia central. **Novos Cadernos NAEA**, 12: 19-50. 2009.
- IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. In: Eggleston HS, Buendia L, Miwa K, Ngara T and Tanabe K (Eds.), National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES. Japan. 2006.
- Nepstad, D.C.; McGrath, D.G.; Soares-Filho, B.S. Systemic Conservation, REDD, and the Future of the Amazon Basin. **Conservation Biology**, 25: 1113–1116. 2011.
- Soares-Filho, B.S. 2013. Dinamica Project. Remote Sensing Center. University of Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil. Disponível em: <<http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>>. Acesso em: 18.out.2013.
- TerraClass. 2013. Dados TerraClass 2010. (http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2010.php). Acesso em 10/10/2013.
- Yeh, A.G.O.; Li, X. Errors and uncertainties in urban cellular automata. Computers. **Environment and Urban Systems**, 30: 10-28. 2006.