

# A AMAZÔNIA FRENTE ÀS MUDANÇAS NO USO DA TERRA E DO CLIMA GLOBAL E A IMPORTÂNCIA DAS ÁREAS PROTEGIDAS NA MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS: UM ESTUDO DE MODELAGEM NUMÉRICA DA ATMOSFERA<sup>i</sup>

The Amazon in the face of land cover and global climate changes and the importance of protected areas in mitigation of impacts: a study of Numerical Modeling of the Atmosphere

La Amazonía frente a los cambios en el uso de la tierra y del clima global y la importancia de las áreas protegidas en la mitigación de los impactos: un estudio de Modelamiento Numérico de la Atmósfera

Vinícius Machado Rocha<sup>i</sup>  
Francis Wagner Silva Correia<sup>ii</sup>  
*Universidade do Estado do Amazonas*

Edson Soares Fialho<sup>iii</sup>  
*Universidade Federal de Viçosa*

## Resumo

O presente trabalho retrata a vulnerabilidade da floresta amazônica às variabilidades e mudanças do sistema climático, como os eventos El Niño e Oscilação Atlântica, como também às mudanças no uso da terra, sobretudo através do desflorestamento tropical, e do clima global, em função do aumento nas emissões dos gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera. Realizou-se um estudo de sensibilidade do clima utilizando o modelo regional GEMBRAMS com o intuito de avaliar os impactos no balanço de umidade na Amazônia decorrentes das mudanças no uso da terra e do clima global. Os resultados encontrados revelam um cenário preocupante para a Amazônia. As mudanças no ciclo hidrológico, a temperatura elevada da superfície e uma possível estação seca prolongada poderiam conduzir um novo estado de equilíbrio do sistema clima-bioma: mais seco, inclusive com a savanização de algumas partes da Amazônia. Na contramão deste caminho, as áreas protegidas têm um importante papel de proteção das paisagens e de manutenção dos processos ecológicos e dos serviços ambientais, cujo mais valioso é aquele que resulta da não emissão de GEE através da conservação de estoques de carbono florestais, ou simplesmente REDD (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal). Nesse sentido, faz-se necessário implementar uma revolução científico-tecnológica na Amazônia que estabeleça cadeias tecno-produtivas com base na biodiversidade, desde as comunidades da floresta até os centros da tecnologia avançada. Esse é um desafio fundamental hoje, que será ainda maior com a integração da Amazônia sul-americana.

**Palavras-chave:** Amazônia; mudanças climáticas globais; desflorestamento tropical; balanço de umidade; áreas protegidas.

## Abstract

This work shows the vulnerability of the Amazon forest to the climate system changes and variability, such as the El Niño and Atlantic Oscillation events, as well as to changes in land use, mainly by tropical deforestation, and global climate change due to the increase in emissions of greenhouse gases (GHG) in the atmosphere. The GEMBRAMS regional model was used to evaluate the impacts on the hydrological cycle of the Amazon Basin caused by land cover and global climate changes. The results shows a worrying scenario for the Amazon Basin. The changes in the hydrological cycle, the high temperature of the surface and a possible prolonged dry season could lead to a new equilibrium state of the climate-biome system: hotter and drier, including the savannization in parts of Amazon. On the other hand, protected areas have an important role in protection of landscapes and maintenance of ecological processes and environmental services, of which the most valuable is the one resulting from the non-emission of GHG through conservation of forest carbon stocks, or simply REDD (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation). In this sense, it is necessary to implement a scientific-technological revolution in the Amazon that establishes techno-productive chains based on biodiversity, from forest communities to centers of advanced technology. This is a major challenge today, one which will be further increased with the integration of the Amazon in South America.

**Keywords:** Amazon; global climate changes; tropical deforestation; hydrological cycle; protected areas.

## Resumen

El presente trabajo muestra la vulnerabilidad del bosque Amazónico a las variaciones y cambios del sistema climático, como los eventos El Niño y la Oscilación del Atlántico, como también a los cambios en el uso de la tierra a través de la deforestación tropical y del cambio climático global, en función del aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera. Se realizó un estudio de sensibilidad del clima utilizando el modelo regional GEMBRAMS con el objetivo de evaluar los impactos en el balance de humedad en la Amazonía decurrentes de los cambios en el uso de la tierra y del clima global. Los resultados obtenidos revelan un panorama preocupante para la Amazonía. Los cambios en el ciclo hidrológico, la alta temperatura de la superficie y una posible estación seca más larga podrían conducir un nuevo estado de equilibrio del sistema clima-bioma: más seco, inclusive con la sabanización

de algunas regiones de la Amazonía. En dirección contrario a este camino, las áreas protegidas tienen un papel importante para la protección de los paisajes y del mantenimiento de los procesos ecológicos y de los servicios ambientales, siendo que lo más valioso es aquello que resulta de las no emisiones de GEI por medio de la conservación de los almacenes de carbono en el bosque, o simplemente REDD (Reducción de Emisiones de la Deforestación y la Degradación de Bosques). En este sentido, se hace necesario implementar una revolución científica-tecnológica en la Amazonía que establezca cadenas tecnoproductivas con base en la biodiversidad, desde las comunidades del bosque hasta los centros de tecnología avanzada. Esto es un desafío fundamental de hoy, que sería más amplio con la integración de la Amazonía sudamericana.

**Palabras clave:** Amazonía; cambios climáticos globales; deforestación tropical; balance de humedad. áreas protegidas.

## INTRODUÇÃO

A Amazônia é a única grande extensão contínua de floresta tropical úmida do mundo. Com uma área de aproximadamente 7 milhões de km<sup>2</sup>, a Amazônia desempenha um importante papel nas trocas de energia, umidade e massa entre a superfície continental e a atmosfera, fornecendo serviços ambientais fundamentais para a manutenção do clima regional e global, tais como: o armazenamento e absorção do excesso de carbono da atmosfera, a ciclagem de água e o transporte de gases traço, aerossóis e vapor d'água para regiões remotas (ROCHA et. al., 2004; FEARNSSIDE, 2005; ARTAXO et. al., 2005; MARENGO, 2006; MALHI et. al., 2008; DAVIDSON et. al., 2012).

Estudos recentes têm demonstrado que as florestas intactas da Amazônia Ocidental, onde particularmente há solos mais férteis e um curto período seco, funcionam como sumidouros do dióxido de carbono da atmosfera em anos sem ocorrência de secas, absorvendo 0,49 a 0,79 PgC.ano<sup>-1</sup> (BAKER et. al., 2004; PHILLIPS et. al., 2008). Com relação ao balanço de umidade em escala local, atualmente a bacia comporta-se como um sumidouro de umidade da atmosfera, recebendo vapor d'água tanto da floresta tropical, por meio da intensa reciclagem de água (TRENBERTH, 1999), quanto do transporte de umidade proveniente do oceano Atlântico Tropical (MARENGO, 2004 e 2006). No contexto da circulação regional, a bacia amazônica representa uma importante fonte de umidade para o Centro e o Sudeste do

Brasil, contribuindo para a ocorrência de precipitação nessas regiões (MARENGO, 2001 e 2004; VERA et. al., 2006).

Todavia, a Amazônia demonstra vulnerabilidade às variabilidades e mudanças do sistema climático, como os eventos El Niño e Oscilação Atlântica (NOBRE et. al., 2007; MALHI et. al., 2008; FEARNSSIDE, 2009). O risco dos impactos é potencializado quando mudanças no clima em escala global são acompanhadas por mudanças nos usos da terra em escala regional.

Esta pesquisa apresenta resultados de um experimento de modelagem numérica do clima utilizando o modelo de área limitada GEMBRAMS - Brazilian Regional Atmospheric Modeling System (FREITAS et. al., 2007) acoplado ao modelo de vegetação dinâmica General Energy and Mass Transport Model (CHEN e COUGHENOUR, 1994). O estudo avaliou as implicações das mudanças climáticas globais e do desflorestamento tropical na temperatura da superfície e no balanço de umidade da bacia amazônica. Em um segundo momento, são discutidas as estratégias que visam a contenção do desmatamento amazônico, tais como a criação de áreas protegidas; a repressão através de procedimentos de licenciamento, monitoramento e multas; e alternativas de valorização da floresta em pé.

**VULNERABILIDADE DA AMAZÔNIA ÀS VARIABILIDADES E MUDANÇAS DO SISTEMA CLIMÁTICO: EL NIÑO E**

## OSCILAÇÃO ATLÂNTICA

O aquecimento do Pacífico Tropical leste durante eventos El Niño suprime a precipitação da estação chuvosa na bacia amazônica através da modificação da circulação de Walker (leste-oeste) e via os extratropicais no Hemisfério Norte (NOBRE e SHUKLA, 1996). Variações na precipitação da Amazônia são também conhecidas por estarem relacionadas às temperaturas da superfície do mar (TSMs) no Atlântico Tropical (LIEBMANN e MARENGO, 2001). Um aquecimento do Atlântico Tropical norte relativo ao sul leva a uma mudança para o norte e oeste da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e subsidência compensatória sobre a Amazônia (FU et. al., 2001). As TSMs no Atlântico também exercem uma grande influência na precipitação da estação seca (julho-outubro) no oeste da Amazônia pelo atraso no início da Monção da América do Sul (MARENGO et. al., 2001; HARRIS et. al., 2008; MARENGO et. al., 2012).

Simulações com modelos de circulação geral (MCG) e regional (MR) da atmosfera revelam que, estes eventos poderão se tornar cada vez mais frequentes em um cenário de aquecimento global (aumento na concentração dos gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera),

o que provocaria mudanças significativas no domínio morfoclimático da Amazônia, tornando-o, gradualmente, mais quente e seco (OYAMA e NOBRE, 2003; SCHOLZE et. al., 2006; SALAZAR et. al., 2007).

## MUDANÇAS NO USO DA TERRA NA AMAZÔNIA

Segundo levantamento do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o desflorestamento na Amazônia Legal aumentou continuamente a partir de 1991 variando, historicamente, em função das forças econômicas, como: taxas de juros, subsídios governamentais para o crédito agrícola, índice de inflação e preço da terra (FEARNSIDE, 2005; FERREIRA et. al., 2005; SOARES-FILHO et. al., 2005; FEARNSIDE, 2006).

Entre 1988 e 2010 (FIGURA 1) nota-se que, o pico do desflorestamento ocorreu no ano de 1995 (29.059 km<sup>2</sup> de área desflorestada), o que tem sido atribuído à recuperação da economia brasileira com o Plano Real. Já na segunda metade da década de 1990, em consequência dos cortes bruscos do Plano Real sobre o índice de inflação, a taxa de desflorestamento variou entre 13 mil e 18 mil km<sup>2</sup>/ano. Se os preços da terra atingiram o pico em 1995, eles caíram quase 50,0% ao final de

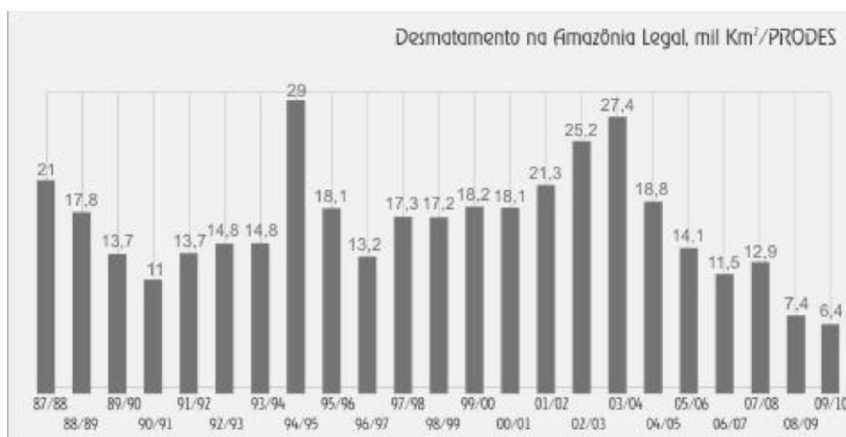


FIGURA 1 - Taxa média do desmatamento na Amazônia Legal (km<sup>2</sup>/ano) para o período de 1988 a 2010. Fonte: Inpe (2010).

1997 (FEARNSIDE, 2005). Logo, os preços em queda fizeram da especulação um negócio não-atrativo.

No início da década de 2000, entretanto, mesmo com a economia interna sem vitalidade, as taxas de desflorestamento tiveram uma ascensão vertiginosa. De 2002 a 2003, por exemplo, a taxa de desflorestamento registrada foi de 23.750 km<sup>2</sup>; 2,1% superior ao período de 2001-2002.

Este, por sua vez, apresentou uma taxa 28% maior em relação ao biênio 2000-2001. Em 2004 ocorreu a segunda maior taxa já mensurada da série histórica: 27.000 km<sup>2</sup>, aproximadamente; sendo a região sul-sudeste da Amazônia (Rondônia, Pará e Mato Grosso) a mais afetada. Esses dados podem ser atribuídos, parcialmente, a um aumento da globalização das forças de desmatamento, com um marcante crescimento do mercado internacional de soja e, em especial, de carne bovina (FEARNSIDE, 2005 e 2006).

Nos últimos anos, o que se verifica é a diminuição das taxas de desflorestamento associadas à queda dos preços internacionais da soja e da carne bovina e uma taxa de câmbio desfavorável do real em relação ao dólar americano, fazendo com que a agropecuária para exportação se torne menos lucrativa (FEARNSIDE, 2010).

Até o momento, a área total desflorestada na Amazônia já atinge cerca de 600 mil km<sup>2</sup>, ou 15,0% de sua cobertura original, apresentando uma taxa média anual de, aproximadamente, 17 mil km<sup>2</sup>/ano. A associação das maiores variações na taxa de desmatamento com os fatores macroeconômicos tais como a disponibilidade de capital e o índice de inflação é uma indicação de que a maior parte desse desmatamento é realizada por agentes

de grande e médio porte, que investem em pastagens extensivas para a criação de gado e de cultivos, como por exemplo, a soja (FEARNSIDE, 2005 e 2006; McGRATH e DIAZ, 2006; FEARNSIDE, 2010). Entretanto, pequenos agricultores podem atuar como forças importantes nos locais onde se concentram (FEARNSIDE, 2005 e 2006). A degradação da floresta resulta, ainda, do corte seletivo, dos incêndios (facilitados pelo corte seletivo) e dos efeitos da fragmentação e da formação de borda (NEPSTAD et. al., 1999, 2001).

Como visto, a dependência dos investimentos externos tem submetido à trajetória do desmatamento amazônico à dinâmica econômica vivida pelo país como um todo e, mais recentemente, pela economia mundial. A soja, utilizada na fabricação de ração animal para abastecer o mercado asiático, mais precisamente o Chinês, reforça a pressão por novas áreas de cultivo do grão, assim como a demanda ligada à produção de bicombustíveis, particularmente o biodiesel (NEPSTAD et. al., 2008). Nesse sentido, os investimentos em infraestrutura (hidrovias, ferrovias e rodovias) viabilizados por programas governamentais de “desenvolvimento”, tais como o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e a iniciativa de Integração da Infraestrutura Regional Sul-Americana (IIRSA), estão entre as mudanças em curso que apontam para um futuro com mais desmatamento (NEPSTAD et. al., 2002; SOARES-FILHO et. al., 2004; NEPSTAD et. al., 2009; FEARNSIDE, 2010).

Projetos rodoviários planejados, tais como a reconstrução das rodovias BR-163 (Cuiabá-Santarém) e BR-319 (Manaus-Porto Velho), por exemplo, implicam na entrada de

agentes de desmatamento e abertura de grandes áreas de floresta, sobretudo na Amazônia Central. O mero anúncio de projetos de construção e de melhoria de rodovias leva a uma corrida especulativa por terras, com “grileiros” (grandes pretendentes ilegais de terra) frequentemente tomando posse de extensas áreas em antecipação aos lucros oriundos do rápido aumento do preço da terra, uma vez que a rodovia esteja completa (NEPSTAD et. al., 2002; SOARES-FILHO et. al., 2004; FEARNSSIDE, 2005 e 2006; FEARNSSIDE e de ALENCASTRO GRAÇA, 2006, 2009; FEARNSSIDE et. al., 2009).

Os impactos decorrentes do desmatamento de sistemas florestais para transformação em sistemas agrícolas e/ou pastagem, implica em: erosão e compactação do solo e a exaustão dos nutrientes (FEARNSSIDE, 2005); perda de biodiversidade e sociodiversidade (FEARNSSIDE, 2006); redução da ciclagem da água (e da precipitação) (NOBRE et. al., 1991; SAMPAIO et. al., 2007); e emissões de gases traço, partículas de aerossóis e carbono (na forma de dióxido de carbono – CO<sub>2</sub>) para a atmosfera (ARTAXO et. al., 2005; SOARES-FILHO et. al., 2006, 2010), contribuindo para o aquecimento global que, por sua vez, acaba atuando sobre a Amazônia.

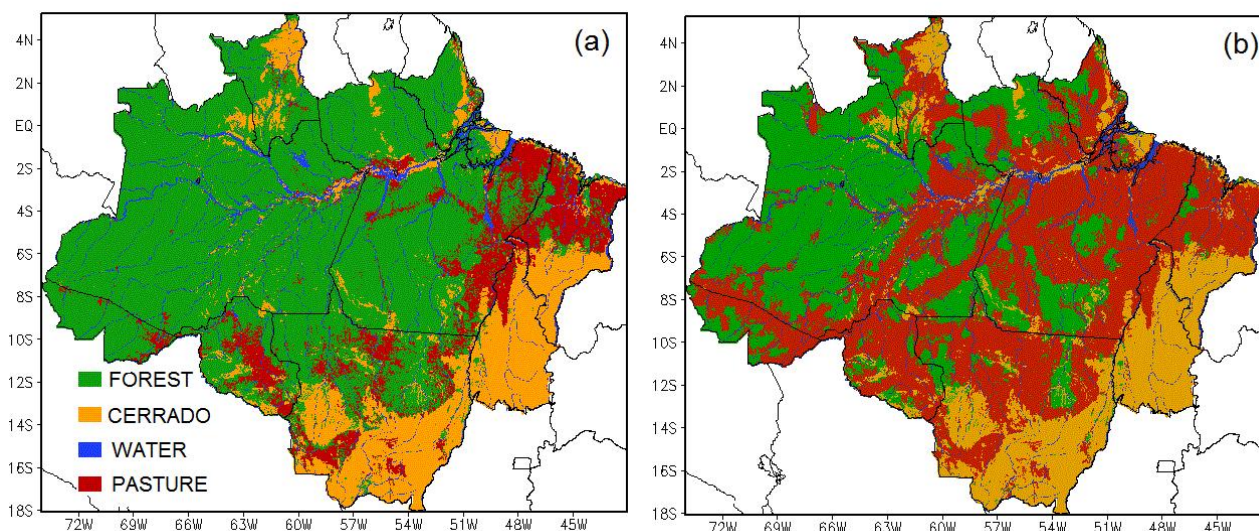
## MATERIAIS E MÉTODOS

### MODELO REGIONAL GEMBRAMS

As simulações numéricas foram realizadas com o modelo de área limitada GEMBRAMS, versão do modelo Brazilian Regional Atmospheric Modeling System – BRAMS (FREITAS et. al., 2007) acoplado ao esquema de vegetação dinâmica General Energy and Mass Transport Model – GEMTM (CHEN e COUGHENOUR, 1994). O BRAMS foi

designado para simular circulações atmosféricas de diferentes escalas, sendo mais frequentemente aplicado para simulações de mesoescala. Baseia-se no conjunto completo de equações primitivas não-hidrostáticas que governam a evolução do estado atmosférico e na termodinâmica de um fluido, incluindo o estado da arte de parametrizações de diversos processos físicos. O modelo foi desenvolvido dentro do formalismo de diferenças finitas para as integrações no espaço e no tempo; estando escrito, quase exclusivamente, na linguagem computacional FORTRAN 90. A grade do modelo BRAMS é alternada do tipo C de Arakawa (MESINGER e ARAKAWA, 1976). O esquema de difusão turbulenta é o proposto por Mellor e Yamada (1982); a parametrização de Grell and Dévényi (2002) é o esquema de convecção profunda; a parametrização de radiação utilizada foi a de Chen e Cotton (1983); a parametrização da microfísica é a descrita em Walko et. al. (1995); os fluxos de momentum, de calor latente, de calor sensível e de radiação entre a superfície vegetada e a atmosfera são determinados pelo esquema de interação solo-vegetação-atmosfera *Land Ecosystem-Atmosphere Feedback Model – LEAF 3* (WALKO et. al., 2000).

A versão utilizada nesse estudo apresenta o módulo de vegetação dinâmica General Energy and Mass Transport Model – GEMTM acoplado, que simula as interações dinâmicas de maneira “two-way” entre a superfície e a atmosfera (CHEN e COUGHENOUR, 1994; PITMAN e NARISMA, 2005). O modelo GEMTM simula os processos físicos e biológicos (curto período), tais como: trocas turbulentas entre o dossel e a atmosfera, transferência e interceptação da radiação, fotossíntese para as plantas tipo C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> e a



**FIGURA 2** – Cenários de desflorestamento com resolução horizontal de 1km. (a) cenário de desflorestamento atual, produzido pelo projeto ProVeg (ano 2000 como referência) e usado na simulação de controle (CNTRL); (b) cenário de desflorestamento para 2050, usado no experimento CA2D50. Nos mapas, a cor verde significa floresta equatorial; o amarelo representa o cerrado; azul à água; e o vermelho significa pastagens degradadas (áreas desflorestadas).

Organizado por Vinícius Machado Rocha.

condutância estomática; e também os processos de resposta do ecossistema ao clima (longo período), tais como: o processo de crescimento da planta e a dinâmica da vegetação.

## CENÁRIOS DE USO DA TERRA PARA A AMAZÔNIA LEGAL

Foram utilizados dois cenários de uso da terra para a Amazônia; são eles: a) cenário atual de desflorestamento, referente ao ano de 2000 e b) cenário de desflorestamento para o ano de 2050 (FIGURA 2). No cenário atual de desflorestamento considerou-se o mapa de vegetação elaborado pelo Projeto ProVeg (SESTINI et al., 2002). Esse mapa foi gerado a partir de dados do Projeto RADAMBRASIL, que inclui 26 cartas na escala 1:1.000.000 e, ainda, do mapa de vegetação para todo o Brasil na escala de 1:5.000.000 gerado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1993), disponíveis em formato digital. Dados do Projeto de Estimativa do Desflorestamento

Bruto da Amazônia – PRODES-DIGITAL (INPE, 2010) foram utilizados para incluir as alterações decorrentes da ação antropogênica que vem ocorrendo na região amazônica. O cenário de desflorestamento referente ao ano de 2050 foi elaborado a partir do arcabouço do programa de modelagem ambiental Dinamica EGO (SOARES-FILHO et. al., 2004), elaborado pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, baseado em autômatos celulares. Nesse estudo, a pastagem degradada representou o desflorestamento na Amazônia Legal (CORREIA et. al. 2006).

## CENÁRIOS DE EMISSÃO DOS GASES DE EFEITO ESTUFA (GEE)

Os “*emissions scenarios*”, ou cenários de emissão, representam uma visão possível do desenvolvimento futuro de emissões de substâncias que têm um efeito radiativo potencial (gases de efeito estufa, aerossóis), baseados numa combinação coerente e internamente consistente de suposições sobre

forçantes controladoras como demografia, desenvolvimento socioeconômico e mudanças na tecnologia, assim como suas interações.

No presente estudo, empregaram-se dois cenários de emissão dos gases de efeito estufa (GEE) que foram elaborados a partir das simulações climáticas do modelo de circulação geral Community Climate System Model (CCSM3), do National Center for Atmospheric Research - NCAR (MEEHL et. al., 2006). O primeiro corresponde ao cenário atual de emissão dos gases de efeito estufa, referente ao clima do presente (ano 2000 como base); e o segundo caracteriza o cenário de emissão A2 (SRES - Special Report on Emissions Scenarios, IPCC-AR4; RANDALL et al., 2007) para o ano de 2050 (FIGURA 3).

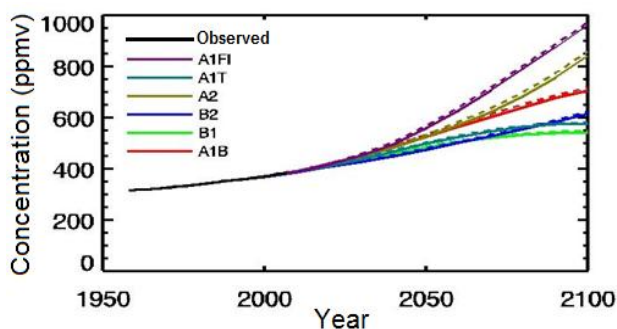


FIGURA 3 - Concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera observada em Mauna Loa de 1958 até 2008 (linha preta tracejada) e projeções para os seis SRES (Special Report on Emission Scenarios) do IPCC-AR4 (RANDALL et al., 2007): A1F1, A1T, A2, B2, B1, A1B. O eixo "y" traz as concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera em partes por milhão por volume (ppmv), enquanto que o eixo "x" representa o tempo em anos (de 1950 a 2100).

Fonte: <http://www.ipcc-data.org>.

## ESTRATÉGIA DE SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Foram realizados dois experimentos numéricos, denominados: CNTRL e CA2D50. No experimento CNTRL, incluiu-se a representação da vegetação na região da Amazônia Legal elaborada pelo projeto

PROVEG (SESTINI et. al., 2002), considerando dados de desflorestamento para o ano base de 2000 (INPE, 2010) e o cenário atual de emissão dos gases de efeito estufa (GEE), proveniente das condições inicial e de contorno do modelo atmosférico CCSM3 (NCAR). No experimento CA2D50, utilizou-se o cenário de desflorestamento da Amazônia Legal projetado para o ano de 2050, elaborado pelo modelo de dinâmica de vegetação dinâmica EGO (SOARES-FILHO et. al., 2004), assim como o cenário de emissão dos GEE A2 (SRES - Special Report on Emissions Scenarios, IPCC-AR4; RANDALL et al., 2007) referente ao ano de 2050.

Cada experimento consistiu de uma rodada de 13 meses, inicializada em 00:00 horas TMG (Tempo Médio Greenwich), com análises do CCSM3 para o dia 1 de novembro. A condição inicial de água no solo foi obtida de Gevaerd e Freitas (2006). Nas duas simulações utilizou-se a temperatura da superfície do mar (TSM) climatológica. Configurou-se o modelo com uma única grade na resolução de 40 km e 32 níveis na vertical, com domínio espacial de 15N-50S e 25W-90W (TABELA 1). O modelo regional GEMBRAMS assimilou as análises do modelo atmosférico CCSM3 a cada 6 horas de integração, através do processo de *downscaling dinâmico*<sup>1</sup>. No modelo GEMBRAMS a concentração dos GEE para o clima atual e do futuro foi a mesma e se manteve constante durante as integrações numéricas. Ignorou-se o primeiro mês de integração para que a umidade do solo e as condições iniciais fossem ajustadas, sendo considerado para as análises somente os doze últimos meses.

## VALIDAÇÃO DO MODELO REGIONAL GEMBRAMS: SIMULAÇÃO DE CONTROLE

Experimento	Integração	Downscaling	Cenário Climático	Cenário de Desflorestamento
CNTRL	13 Meses	CCSM3	2000 – Atual (369 ppmv <sup>*</sup> )	2000 – ProVeg
CA2D50	13 Meses	CCSM3	2050 – A2 (532 ppmv <sup>*</sup> )	2050 – Dinamica EGO
Experimento	Inicialização	Domínio Espacial	Resolução Espacial	
CNTRL	01/11/1999	15N-50S e 25W-90W (AS)	40 km (150 x 180)	
CA2D50	01/11/2049	15N-50S e 25W-90W (AS)	40 km (150 x 180)	

TABELA 1 - Configurações das simulações numéricas para cada experimento realizado com o modelo regional GEMBRAMS.

(\*)ver Nakicenovic et al. (2000) e Pitman e Narisma (2005).

Organizado por Vinícius Machado Rocha.

Quatro diferentes bases de dados de precipitação foram utilizadas no intuito de validar a precipitação simulada pelo modelo regional GEMBRAMS em sua simulação de controle (CNTRL); são elas: a) Tropical Rainfall Measuring Mission - TRMM (KUMMEROW et. al., 1998), b) MERGE - estimativas de precipitação por satélite combinada com observações de superfície sobre a América do Sul (VILA, et al., 2009), c) Climatic Research Unit - CRU (NEW et. al., 1999), d) Climate Prediction Center - CPC, Merged Analysis of Precipitation - CMAP (XIE e ARKIN, 1997). Para a validação do desempenho da precipitação simulada pelo modelo GEMBRAMS utilizou-se a variação média mensal da precipitação para o período de dezembro/1999 a novembro/2000 (FIGURA 4).

De forma geral, o modelo conseguiu representar a distribuição espacial e sazonal (não mostrado) dos máximos e mínimos de precipitação sobre o continente durante a estação chuvosa, particularmente aquela associada à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Na região amazônica, a precipitação é subestimada em até 3 mm dia<sup>-1</sup> na estação seca, e o desempenho é melhor no período chuvoso. Por outro lado, a precipitação simulada sobre o sertão do Nordeste do Brasil é superior à observada.

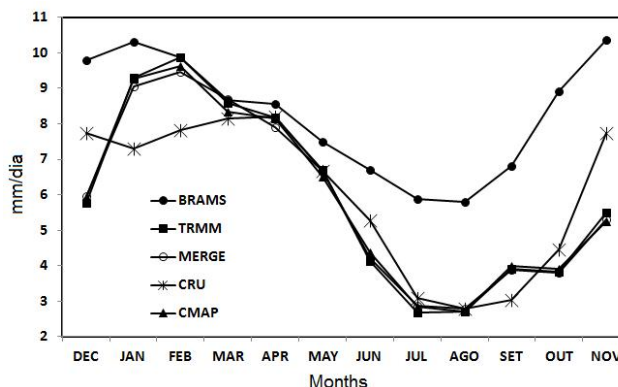


FIGURA 4 - Variação sazonal da precipitação simulada e observada na bacia amazônica durante dezembro/1999 a novembro/2000 utilizando quatro diferentes bases de dados: Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM); MERGE; Climatic Research Unit (CRU); e Merged Analysis of Precipitation (CMAP). As unidades, no eixo "y", estão em mm.dia<sup>-1</sup>. Os meses do ano estão representados no eixo "x".

Organizado por Vinícius Machado Rocha.

Verificou-se a presença de erros sistemáticos na estimativa de precipitação sobre os Andes, sobretudo na porção norte, devido ao efeito topográfico. Na estação seca, a maior quantidade de precipitação foi observada principalmente no extremo norte da América do Sul, litoral leste do Nordeste e no Sul do Brasil. Diferentes regimes de tempo são responsáveis pelos padrões de precipitação nestas regiões.

Na porção Norte, a chuva é produzida por convecção tropical e interações entre o aquecimento continental e a convergência de grande escala. No Sul do país, a precipitação é



causada principalmente pela passagem de sistemas frontais, que se propagam em direção à zona equatorial. Os máximos de precipitação ao longo da costa leste do Nordeste são devidos às linhas de instabilidade, formadas por cumulonimbus de diversos tamanhos que se organizam em linha ou em curva.

Na porção norte do continente sul americano, sobre os Andes, a quantidade de precipitação foi superestimada no modelo regional; entretanto, a climatologia mostra que chuvas abundantes são normalmente verificadas nessa região (FIGUEROA e NOBRE, 1990). O posicionamento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e da banda de nebulosidade sobre o Oceano Atlântico, próxima à costa sul do Brasil foram bem representados; contudo a precipitação na ZCIT foi superestimada.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### MUDANÇAS CLIMÁTICAS REGIONAIS

Os impactos no balanço de umidade da Amazônia decorrentes das mudanças no uso da terra e no clima global, devido ao aumento nas emissões dos GEE, foram avaliados através da diferença entre as simulações CA2D50 e CNTRL.

As mudanças mais significativas nos balanços de energia, de água e na temperatura da superfície ocorreram durante a estação chuvosa da bacia amazônica (verão austral na América do Sul). Nesta estação, a temperatura da superfície apresentou anomalias positivas em todo o continente, porém com valores mais intensos (entre 5,0° e 7,0°C) na Amazônia; principalmente na porção central-leste da bacia (FIGURA 5a).

Tal aumento na temperatura está intrinsecamente ligado ao acréscimo na

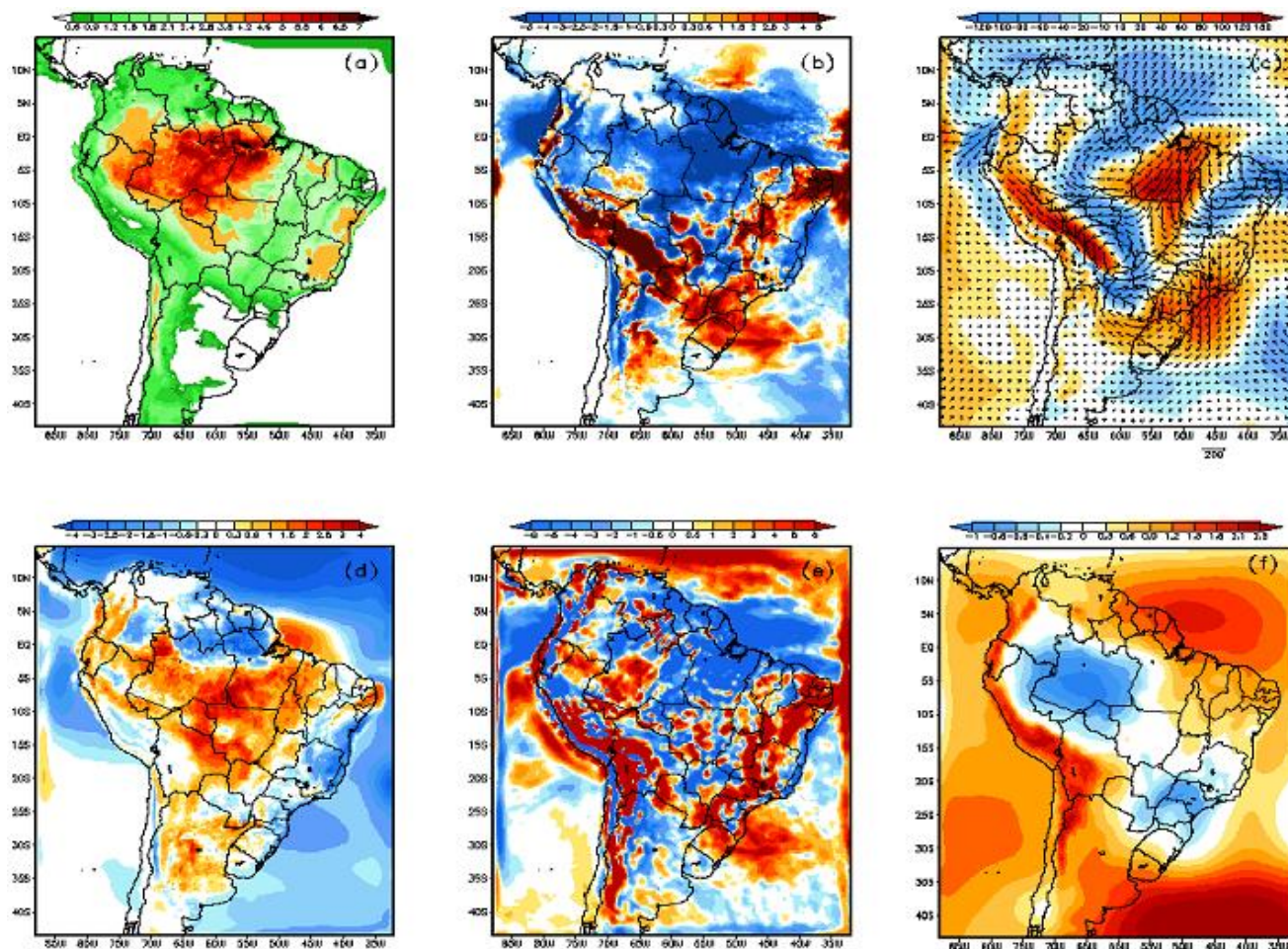
disponibilidade de energia à superfície, que por sua vez está relacionado com o aumento nos fluxos radiativos de onda curta (solar) e longa (termal) descendentes. Em outras palavras, o desflorestamento e o aumento nas emissões dos GEE contribuíram juntamente para aumentar, em média, a temperatura da superfície na bacia amazônica em 3,4°C (TABELA 2).

Verificou-se o estabelecimento de um mecanismo de retroalimentação positivo (MRP), no qual as alterações na circulação regional (convergência de umidade) e na evapotranspiração contribuíram concomitantemente para a redução (cerca de 30,0%) no regime de precipitação sobre a bacia amazônica (TABELA 2). O MRP observado configura-se um cenário preocupante para a Amazônia, já que pode causar instabilidade aos seus ecossistemas.

O aumento na pressão reduzida ao nível do mar (PNM) na porção centro-leste da Amazônia (FIGURA 5f) provocou alterações significativas no padrão da circulação regional, sobretudo no que tange à divergência de umidade (FIGURA 5e) o que, de fato, contribuiu para a redução da precipitação (-1 a -4 mm.dia<sup>-1</sup>; FIGURA 5b) nesta região.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) apresentou-se menos intensa e deslocada ao norte de sua posição climatológica no Atlântico Tropical, contribuindo também para a redução da precipitação sobre a Amazônia. Por outro lado, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) ficou definida um pouco abaixo de sua região climatológica e com anomalias positivas entre 2 e 4 mm dia<sup>-1</sup> (FIGURA 5b,e).

No Sul e em algumas áreas do Sudeste do Brasil foi possível notar um aumento



**FIGURA 5** - Mudanças climáticas na Amazônia durante a estação chuvosa. Diferença entre as simulações CA2D50 e CNTRL utilizando o modelo regional GEMBRAMS: (a) Temperatura da superfície (°C); (b) Precipitação (mm.dia<sup>-1</sup>); (c) Fluxo de umidade integrado verticalmente (kg.m<sup>-1</sup>.s<sup>-1</sup>); (d) Evapotranspiração (mm.dia<sup>-1</sup>); (e) Convergência de umidade (mm.dia<sup>-1</sup>); (f) Pressão atmosférica (mb). Organizado por Vinícius Machado Rocha.

Estação Úmida (DJF)				
	CNTRL	CA2D50	CA2D50-CNTRL	%
Ts	25,7	29,1	3,4	
T(850mb)	25,3	28,5	3,2	12,6
U.R.	76,1	63,9	-12,2	-16,0
Rn	113,7	155,1	41,4	36,4
PNM	992,7	992,7	0,1	0,0
P	10,6	7,5	-3,1	-29,2
E	3,8	4,3	0,5	13,2
C	7,2	3,7	-3,5	-48,6
R	6,8	3,2	-3,6	-52,9

**TABELA 2** - Média dos impactos regionais do cenário CA2D50-CNTRL sobre a bacia amazônica durante a estação chuvosa. Ts: Temperatura da superfície (°C); T(850mb): Temperatura em 850mb (°C); U.R.: Umidade relativa (%); Rn: Saldo de radiação (Wm<sup>2</sup>); PNM: Pressão ao nível médio do mar (mb); P: Precipitação (mm.dia<sup>-1</sup>); E: Evapotranspiração (mm.dia<sup>-1</sup>); C: Convergência de umidade (mm.dia<sup>-1</sup>); R: Escoamento superficial "runoff" (mm.dia<sup>-1</sup>).

Organizado por Vinícius Machado Rocha.

significativo na precipitação (+3,5 mm dia<sup>-1</sup>; FIGURA 5b). Na região do Jato de Baixos Níveis (SALLJ; FIGURA 5c) observou-se a intensificação no transporte de umidade na parte oeste (próximo aos Andes) e redução no leste originando, de tal maneira, um corredor de confluência (convergência) de umidade que se estende até as regiões subtropicais da América do Sul. Ademais, as temperaturas elevadas verificadas no cenário CA2D50 intensificaram a baixa pressão sobre o continente que, por sua vez, conduziu à aceleração do SALLJ, aumentando a convergência de umidade na saída do jato e, conseqüentemente, a precipitação nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.

Uma vez que a Amazônia não apresenta grande capacidade de adaptação à magnitude das mudanças no uso da terra e do clima global, sobretudo se estas ocorrerem em um curto intervalo de tempo, outro tipo de domínio morfoclimático, provavelmente o Cerrado, poderia se adaptar às novas condições climáticas. Duas características fazem desta vegetação o tipo provavelmente adaptável: resistência a um período seco mais longo (p.e., seis meses) e a queimadas recorrentes. Resultados similares foram encontrados em diversos outros estudos envolvendo modelagem numérica, tais como os de Oyama e Nobre (2003); Cox et. al. (2004); Betts et. al. (2004); Salazar et. al. (2007) e Sampaio et. al. (2007).

#### **ÁREAS PROTEGIDAS COMO ESTRATÉGIA DE CONTER O AVANÇO DO DESMATAMENTO TROPICAL E MITIGAR OS IMPACTOS DA MUDANÇA DO CLIMA**

Um dos mecanismos mais promissores

para interromper a destruição maciça da floresta amazônica tem sido a criação de grandes blocos de áreas protegidas. A eficiência das áreas protegidas na contenção do desmatamento tem sido avaliada em diversas regiões do mundo. De maneira geral, os resultados encontrados indicam que as taxas de derrubada da floresta no interior destas áreas são significativamente menores se comparadas às áreas externas e adjacentes (FERREIRA et. al., 2005; NAUGHTON-TREVES et. al., 2005; NEPSTAD et. al., 2006; SOARES-FILHO et. al., 2006; VITEL, 2009; YANAI, 2010; SOARES-FILHO et. al., 2010). Esta diferença brusca entre as taxas de desmatamento no interior e exterior das áreas protegidas é vista por alguns autores como uma demonstração da sua eficácia como mecanismo de redução da destruição das florestas, especialmente quando adequadamente implementadas e, se possível, de forma integrada com os grupos sociais locais. No entanto, a comparação interior versus exterior tem sido vista como uma demonstração de que a estratégia das áreas protegidas pode estimular o desmatamento em outras regiões ou induzir a negligência quanto à conservação fora de áreas protegidas (CRONON, 1996). Tais autores baseiam-se no argumento de que o estabelecimento de uma área protegida pode, no máximo, redistribuir o desmatamento ao longo da paisagem e não diminuí-lo em termos absolutos.

Em outra vertente, muitos pesquisadores compartilham da opinião de que as áreas protegidas além de proteger a diversidade biológica e a manutenção de processos ecológicos e serviços ambientais também proporcionam o bem estar social e cultural, ao mesmo tempo em que fornecem alternativas

econômicas para as populações locais, como por exemplo, quando se trata de reservas extrativistas, reservas de desenvolvimento sustentável e terras indígenas (FEARNSIDE, 2005; FERREIRA et. al., 2005; PERES, 2005; SCHWARTZMAN e ZIMMERMAN, 2005; SOARES-FILHO et. al., 2005; NAUGHTON-TREVES et. al., 2005; FEARNSIDE, 2006; NEPSTAD et. al., 2009; FEARNSIDE, 2010; SOARES-FILHO et. al., 2010).

Dentre os inúmeros benefícios associados às áreas protegidas estão a inibição da grilagem de terras e a diminuição do caos fundiário que facilita a ocupação irregular do território; além do papel potencialmente importante na mitigação do efeito estufa (WALKER et. al., 2009). De acordo com Fearnside (2005), as estratégias para conter o desmatamento na Amazônia incluem, ainda, a repressão através de procedimentos de licenciamento, monitoramento e multas. Segundo o autor, o rigor das penalidades deve ser suficiente para impedir os desmatamentos ilegais, mas não tão grande que as impeçam de ser executadas. Todavia, somente a presença da lei não basta. Há igualmente a necessidade de se valorizar a floresta em pé, buscando-se economias florestais calcadas em uma sólida base macroeconômica; em outras palavras, que sejam competitivas em face dos usos atuais em áreas convertidas, como a criação de gado e a plantação de grãos (SOARES-FILHO et. al., 2005). Parte dos recursos necessários a esse esforço de conservação poderia vir na forma de créditos trocados por emissões de carbono evitadas. Além disso, vislumbram-se investimentos em cadeias de biotecnologia que explorem as enormes possibilidades do celeiro de biodiversidade amazônico.

## CONCLUSÕES

Mudanças no uso da terra vão além da conversão de florestas em pastagem e/ou campos de cultivos, mas apontam para mudanças ambientais mais profundas com efeitos no ecossistema amazônico e no clima de outras regiões do Brasil. O risco dos impactos aumenta ainda mais quando às alterações na vegetação são somadas as emissões dos gases de efeito estufa na atmosfera. A floresta só deixará de ser destruída se tiver valor econômico para competir com a madeira, com a pecuária e com a soja. Mesmo com os grandes avanços na sua proteção, a questão de manter a capacidade sustentável da floresta ainda não foi solucionada. Florestas e terras são bens públicos e, por isso, são trunfos que estão sob o poder do Estado, que tem autoridade para dispor deles, seguindo o interesse da nação.

O Brasil já efetuou três grandes revoluções tecnológicas: a exploração do petróleo em águas profundas; a transformação de cana-de-açúcar em combustível (álcool) na Mata Atlântica e a correção dos solos do Cerrado, que permitiu a expansão da soja (BECKER, 2005). Nesse sentido, o mecanismo econômico mais promissor, e que vem sendo discutido no âmbito da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (UNFCCC), para financiar políticas que visem à conservação de grandes extensões de florestas tropicais, talvez esteja calcado em “commodities” não visíveis, mas reais, tais como os serviços ambientais prestados pela floresta em pé.

Nos tempos atuais de aquecimento global, o serviço ambiental mais valioso é aquele que resulta da não emissão de gases do efeito estufa através da conservação de estoques de carbono florestais, ou

simplesmente REDD (Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal). Ademais, está na hora de implementar uma revolução científico-tecnológica na Amazônia que estabeleça cadeias tecno-produtivas com base na biodiversidade, desde as comunidades da floresta até os centros da tecnologia avançada (BECKER, 2005). Esse é um desafio fundamental hoje, que será ainda maior com a integração da Amazônia sul-americana.

## NOTAS

<sup>i</sup> Geógrafo; Doutorando em Clima e Ambiente pelo Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA); Professor da Universidade do Estado do Amazonas (UEA).

E-mail: [vinicius@inpa.gov.br](mailto:vinicius@inpa.gov.br)

<sup>ii</sup> Físico; Doutor em Meteorologia pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE); Professor da Universidade do Estado do Amazonas (UEA).

E-mail: [francis.wagner70@gmail.com](mailto:francis.wagner70@gmail.com)

<sup>iii</sup> Geógrafo; Doutor em Geografia Física pela Universidade de São Paulo (USP); Professor Adjunto da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

E-mail: [fialho@ufv.br](mailto:fialho@ufv.br)

<sup>1</sup> Técnica de transferência de informação gerada pelos modelos de circulação geral da atmosfera (MCGAs), em larga escala, para escalas menores, a partir de modelos climáticos regionais (MCR). Tal procedimento permite melhor detalhamento espacial e temporal das variáveis do sistema climático, sendo útil em estudos de mudanças e flutuações climáticas em escala regional.

## REFERÊNCIAS

ARTAXO, P.; GATTI, L. V.; LEAL, A. M. C.; LONGO, K. M.; FREITAS, S. R.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; PROCPÓPIO, A. S.; RIZZO, L. V. Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. *Acta Amazonica*, v. 35, n. 2, 2005. pp. 185-196.

BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; DI FIORE, A.; ERWIN, T.; HIGUCHI, N.; KILLEEN, T. J.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F.; LEWIS, S. L.; MONTEAGUDO, A.; NEILL, D. A.; VARGAS, P. N.; PITMAN, N. C. A.; SILVA, J. N. M.; MARTÍNEZ, R. V. Increasing biomass in Amazonian forest plots. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 359, 2004. pp. 353-365.

BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. *Estudos avançados*, v. 19, n. 53, 2005. pp. 71-86.

BETTS, R. A.; COX, P. M.; COLLINS, M.; HARRIS, P. P.; HUNTINGFORD, C.; JONES, C. D. The role of ecosystem-atmosphere interactions in simulated Amazonian precipitation decrease and forest dieback under global climate warming. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 78, 2004. pp. 157-175.

CHEN, C.; COTTON, W. R. A one dimensional simulation of the stratocumulus capped mixed layer. *Bound-Layer Meteorology*, v. 25, 1983. pp. 289-321.

CHEN, D. X.; COUGHENOUR, M. B. GEMTM: A general model energy and mass transfer of land surfaces and its application at the FIFE sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 68, 1994. pp. 145-171.

CORREIA, F. W. S.; ALVALÁ, R. C. S.; MANZI, A. O. Impacto das Modificações da Cobertura Vegetal no Balanço de Água na Amazônia: Um estudo com Modelo de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3a, 2006. pp. 153-167.

COX, P. M.; BETTS, R. A.; COLLINS, M.; HARRIS, P. P.; HUNTINGFORD, C.; JONES, C. D. Amazonian forest dieback under climate-

carbon cycle projections for the 21st century. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 78, 2004. pp.137-156.

CRONON, W. The Trouble with Wilderness: Or, Getting Back to the Wrong Nature. *Environmental History*, v. 1, n. 1, 1996. p. 7.

DAVIDSON, E. A.; ARAÚJO, A. C.; ARTAXO, P.; BALCH, J. K.; BROWN, I. F.; BUSTAMANTE, M. M. C.; COE, M. T.; DEFRIES, R. S.; KELLER, M.; LONGO, M.; MUNGER, J. W.; SCHROEDER, W.; SOARES-FILHO, B. S.; SOUZA Jr., C. M.; WOFSY, S. C. The Amazon basin in transition. *Nature*, v. 481, 2012. pp.321-328.

FEARNSIDE, P. M. Consequências do Desmatamento da Amazônia. *Scientific American Brasil Especial Biodiversidade*, 2010. pp.54-59.

FEARNSIDE, P. M. A vulnerabilidade da floresta amazônica perante as mudanças climáticas. *Oecologia Brasiliensis*, v. 13, n. 4, 2009. pp.609-618.

FEARNSIDE, P. M.; de ALENCASTRO GRAÇA, P. M. L. BR-319: A rodovia Manaus-Porto Velho e o impacto potencial de conectar o arco de desmatamento à Amazônia central. *Novos Cadernos NAEA*, v. 12, n. 1, 2009. pp. 19-50.

FEARNSIDE, P. M.; de ALENCASTRO GRAÇA, P. M. L.; KEIZER, E. W. H.; MALDONADO, F. D.; BARBOSA, R. I.; NOGUEIRA, E. M. Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito estufa na região sob influência da rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 24, n. 2, 2009. pp. 208-233.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia: dinâmica, impactos e controle. *Acta Amazonica*, v. 36, n. 3, 2006. pp.395-400.

FEARNSIDE, P. M.; de ALENCASTRO GRAÇA, P. M. L. O corte profundo na floresta: Reconstrução de estrada na Amazônia conectará trechos de floresta intocada a áreas de desmatamento. *Scientific American Brasil*,

2006. pp.10-11.

FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, 2005. pp. 680-688.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 53, 2005. pp.157-166.

FIGUEROA, S.; NOBRE, C. Precipitation distribution over central and western tropical South America. *Climanálise*, v. 5, n. 6, 1990. pp.36-45.

FREITAS, S. R.; LONGO, K. M.; SILVA DIAS, M. A. F.; CHATFIELD, R.; SILVA DIAS, P. L.; ARTAXO, P.; ANDREAE, M. O.; GRELL, G.; RODRIGUES, L. F.; FAZENDA, A.; PANETTA, J. The Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (CATT-BRAMS). Part 1: Model description and evaluation. *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, v. 7, 2007. pp.8571-8595.

FU, R.; DICKINSON, R. E.; CHEN, M.; WANG, H. How Do Tropical Sea Surface Temperatures Influence the Seasonal Distribution of Precipitation in the Equatorial Amazon? *Journal of Climate*, v. 14, n. 20, 2001. pp. 4003-4026.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Mapa de Vegetação do Brasil. *Rio de Janeiro*, 1993. (Mapa Temático. Escala 1:500.000).

GEVAERD, R.; FREITAS, S. R. Estimativa operacional da umidade do solo para iniciação de modelos de previsão numérica da atmosfera. Parte I: Descrição da metodologia e validação. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3, 2006. pp.1-15.

GRELL, G. A.; DÉVÈNYI, D. A Generalized Approach to Parameterizing Convection Combining Ensemble and Data Assimilation Techniques. *Geophys. Res. Lett.*, v. 29, n. 14, 2002. pp.38.1-38.4.

- HARRIS, P. P.; HUNTINGFORD, C.; COX, P. M. Amazon Basin climate under global warming: the role of the sea surface temperature. *Philosophical transactions of the Royal Society B*, v. 363, n. 1498, 2008. pp. 1753-1759.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2010. Monitoring the Brazilian Amazon forest by satellite: 2008-2009. São José dos Campos, Brazil.
- KUMMEROW, C.; BARNES, W.; KOZU, T.; SHIUE, J.; SIMPSON, J. The tropical rainfall measuring mission (TRMM) sensor package. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, v. 15, 1998. pp. 809-817.
- LIEBMANN, B.; MARENGO, J. A. Interannual Variability of the Rainy Season and Rainfall in the Brazilian Amazon Basin. *Journal of Climate*, v. 14, n. 22, 2001. pp. 4308-4318.
- MALHI, Y.; ROBERTS, J. T.; BETTS, R. A.; KILLEEN, T. J.; LI, W.; NOBRE, C. A. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. *Science*, v. 319, 2008. pp. 169-172.
- MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; GRIMM, A. M.; MISRA, V.; SILVA DIAS, P. L.; CAVALCANTI, I. F. A.; CARVALHO, L. M. V.; BERBERY, E. H.; AMBRIZZI, T.; VERA, C. S.; SAULO, A. C.; NOGUES-PAEGLE, J.; ZIPSER, E.; SETH, A.; ALVES, L. M. Recent developments on the South American monsoon system. *Int. J. Climatol.*, v. 32, 2012. pp. 1-21.
- MARENGO, J. A. On the hydrological cycle of the Amazon Basin: A historical review and current state-of-the-art. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 21, n. 3, 2006. pp. 1-19.
- MARENGO, J. A. Characteristics and spatio-temporal variability of the Amazon River Basin Water Budget. *Climate Dynamics*, v. 24, n. 1, 2004. pp. 11-22.
- MARENGO, J. A.; LIEBMANN, B.; KOUSKY, V. E.; FILIZOLA, N. P.; WAINER, I. C. Onset and End of the Rainy Season in the Brazilian Amazon Basin. *Journal of Climate*, v. 14, n. 5, 2001. pp. 833-852.
- MARENGO, J. A. Mudanças climáticas globais e regionais: Avaliação do clima atual do Brasil e projeções de cenários climáticos do futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 16, n. 1, 2001. pp. 01-18.
- McGRATH, D. G.; DIAZ, M. D. C. V. Soja na Amazônia: impactos ambientais e estratégias de mitigação. *Ciência e Ambiente*, v. 32, 2006. pp. 151-165.
- MEEHL, G. A.; WASHINGTON, W. M.; SANTER, B. D.; COLLINS, W. D.; ARBLASTER, J. M.; HU, A.; LAWRENCE, D. M.; TENG, H.; BUJA, L. E.; STRAND, W. G. Climate Change Projections for the Twenty-First Century and Climate Change Commitment in the CCSM3. *Journal of Climate*, v. 19, 2006. pp. 2597-2616.
- MELLOR, G. L.; YAMADA, T. Development of a turbulence closure-model for geophysical fluid problems. *Reviews of Geophysics*, v. 4, n. 20, 1982. pp. 851-875.
- MESINGER, F. ARAKAWA, A. Numerical methods used in atmospheric models. *GARP Publication Series*, v. 1, n. 17, 1976.
- NAKICENOVIC, N.; ALCAMO, J.; DAVIS, G.; DE VRIES, B.; FENHANN, J.; GAFFIN, S.; GREGORY, K.; GRUBLER, A.; JUNG, T. Y.; KRAM, T.; LEBRE LA ROVERE, E.; MICHAELIS, L.; MORI, S.; MORITA, T.; PEPPER, W.; PITCHER, H.; PRICE, L.; RIAHI, K.; ROEHL, A.; ROGNER, H. H.; SANKOVSKI, A.; SCHLESINGER, M.; PRIYADARSHI SHUKLA, P.; SMITH, S.; SWART, R.; VAN ROOIJEN, S.; VICTOR, N.; DADI, Z. *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2000.
- NAUGHTON-TREVES, L.; HOLLAND, M. B.; BRANDON, K. The Role of Protected Areas in Conserving Biodiversity and Sustaining Local Livelihoods. *Annual Review of Environment and Resources*, v. 30, n. 1, 2005. pp. 219-252.
- NEPSTAD, D.; SOARES-FILHO, B.; MERRY, F.; LIMA, A.; MOUTINHO, P.; CARTER, J.;

BOWMAN, M.; CATTANEO, A.; RODRIGUES, H.; SCHWARTZMAN, S.; MCGRATH, D.; STICKLER, C.; LUBOWSKI, R.; PIRIS-CABEZAS, P.; RIVERO, S.; ALENCAR, A.; ALMEIDA, O.; STELLA, O. The end of deforestation in the Brazilian Amazon. *Science*, v. 326, 2009. pp. 1350-1351.

NEPSTAD, D.; STICKLER, C.; SOARES-FILHO, B.; MERRY, F. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. *Philosophical transactions of the Royal Society B*, v. 363, 2008. pp. 1737-1746.

NEPSTAD, D.; SCHWARTZMAN, S.; BAMBERGER, B.; SANTILLI, M.; RAY, D.; SCHLESINGER, P.; LEFEBVRE, P.; ALENCAR, A.; PRINZ, E.; FISKE, G.; ROLLA, A. Inhibition of Amazon Deforestation and Fire by Parks and Indigenous Lands. *Conservation Biology*, v. 20, n. 1, 2006. pp. 65-73.

NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; ALENCAR, A.; BARROS, A. C.; CARVALHO, G.; SANTILLI, M.; DIAZ, M. C. V. Frontier governance in Amazonia. *Science*, v. 295, 2002. pp. 629-631.

NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J. P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; SILVA Jr., U. L.; PRINS, E. Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. *Forest Ecology and Management*, v. 154, 2001. pp. 395-407.

NEPSTAD, D.; VERISSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTERK, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E.; COCHRANE, M.; BROOKSK, V. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. *Nature*, v. 398, 1999. pp. 505-508.

NEW, M.; HULME, M.; JONES, P. Representing twentieth century space-time climate variability. I: Development of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology. *Journal of Climate*, v. 12, 1999. pp. 829-856.

NOBRE, C.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. *Ciência e*

*Cultura*, v. 59, n. 3, 2007. pp. 22-27.

NOBRE, C.; SELLERS, P.; SHUKLA, J. Amazonian deforestation and regional climate change. *Journal of Climate*, v. 4, n. 10, 1991. pp. 957-988.

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. *Journal of Climate*, v. 9, n. 10, 1996. pp. 2464-2479.

OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. A new climate-vegetation equilibrium state for tropical South America. *Geophysical Research Letters*, v. 30, n. 23, 2003. p. 2199.

PERES, C. A. Why We Need Megareserves in Amazonia. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, 2005. pp. 728-733.

PHILLIPS, O. L.; LEWIS, S. L.; BAKER, T. R.; CHAO, K. J.; HIGUCHI, N. The changing Amazon forest. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 363, 2008. pp. 1819-1827.

PITMAN, A.; NARISMA, G. The role of land surface processes in regional climate change: a case study of future land cover change over south western Australia. *Meteorol. Atmos. Phys.*, v. 89, 2005. pp. 235-249.

RANDALL, D. A.; WOOD, R. A.; BONY, S.; COLMAN, R.; FICHEFET, T.; FYFE, J.; KATSOV, V.; PITMAN, A.; SHUKLA, J.; SRINIVASAN, J.; STOUFFER, R. J.; SUMI, A.; TAYLOR, K. E. Climate Models and their Evaluation. In: SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M.; MILLER, H. L. (eds) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. pp. 589-662.

ROCHA, H. R.; GOULDEN, M. L.; MILLER, S. D.; MENTON, M. C.; PINTO, L. D. V. O.; FREITAS, H. C.; FIGUEIRA, A. M. S. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia. *Ecological*



- Applications*, v. 14, n. 4, 2004. pp. 22-32.
- SALAZAR, L. F.; NOBRE, C. A.; OYAMA, M. D. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, v. 34, 2007. pp. 1-6.
- SAMPAIO, G.; NOBRE, C.; COSTA, M. H.; SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B. S.; CARDOSO, M. F. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. *Geophysical Research Letters*, v. 34, 2007. pp. 1-7.
- SCHOLZE, M.; KNORR, W.; ARNELL, N. W.; PRENTICE, I. C. A climate-change risk analysis for world ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 103, n. 35, 2006. pp. 13116-13120.
- SCHWARTZMAN, S.; ZIMMERMAN, B. Conservation Alliances with Indigenous Peoples of the Amazon. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, 2005. pp. 721-727.
- SESTINI, M. F. *Elaboração de mapas de vegetação para utilização em modelos meteorológicos e hidrológicos*. São José dos Campos: INPE, 2002.
- SOARES-FILHO, B.; MOUTINHO, P.; NEPSTAD, D.; ANDERSON, A.; RODRIGUES, H.; GARCIA, R.; DIETZSCH, L.; MERRY, F.; BOWMAN, M.; HISSA, L.; SILVESTRINI, R.; MARETTI, C. Role of Brazilian Amazon protected areas in climate change mitigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010. pp. 1-6.
- SOARES-FILHO, B.; NEPSTAD, D.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G. C.; GARCIA, R. A.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. Modelling conservation in the Amazon basin. *Nature*, v. 440, n. 7083, 2006. pp. 520-523.
- SOARES-FILHO, B.; NEPSTAD, D.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G.; GARCIA, R.; RAMOS, C.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; MCGRATH, D. Cenários de desmatamento para a Amazônia. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 54, 2005. pp. 137-152.
- SOARES-FILHO, B.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; CERQUEIRA, G.; DIAZ, M. C. V.; RIVERO, S.; SOLÓRZANO, L.; VOLL, E. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarem-Cuiaba corridor. *Global Change Biology*, v. 10, 2004. pp. 745-764.
- TRENBERTH, K. E. Atmospheric moisture recycling: role of advection and local evaporation. *Journal of Climate*, v. 12, 1999. pp. 1368-1381.
- VERA, C.; BAEZ, J.; DOUGLAS, M.; EMMANUEL, C. B.; MARENGO, J.; MEITIN, J.; NICOLINI, M.; NOGUES-PAEGLE, J.; PAEGLE, J.; PENALBA, O.; SALIO, P.; SAULO, C.; SILVA DIAS, M. A.; SILVA DIAS, P.; ZIPSER, E. The South American Low-Level Jet Experiment. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 87, n. 1, 2006. p. 63.
- VILA, D.; GONÇALVES, L.; TOLL, D.; ROZANTE, J. R. Statistical Evaluation of Combined Daily Gauge Observations and Rainfall Satellite Estimates over Continental South America. *Journal of Hydrometeorology*, v. 10, 2009. pp. 533-543.
- VITEL, C. S. M. N. *Modelagem da dinâmica do desmatamento de uma fronteira em expansão, Lábrea, Amazonas*. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus/AM, 2009.
- WALKER, R.; MOORE, N. J.; ARIMA, E.; PERZ, S.; SIMMONS, C.; CALDAS, M.; VERGARA, D.; BOHRER, C. Protecting the Amazon with protected areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 106, n. 26, 2009. pp. 10582-10586.
- WALKO, R. L.; BAND, L. E.; BARON, J.; KITTEL, T. G. F.; LAMMERS, R.; LEE, T. J.; OJIMA, D.; PIELKE, R. A.; TAYLOR, C.; TAGUE, C.; TREMBACK, C. J.; VIDALE, P. L. Coupled atmospherebiophysics-hydrology models for environmental modeling. *Journal of Applied Meteorology*, v. 6, n. 39, 2000. pp. 931-944.
- WALKO, R. L.; COTTON, W. R.; MEYERS, M.

P.; HARRINGTON, J. Y. New RAMS cloud microphysics parameterization Part I: the single moment scheme. *Atmospheric Research*, n. 38, 1995. p p. 29-62.

XIE, P.; ARKIN, P. A. Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bulletin of the American Meteorolog. Society*, v. 78, 1997. p p. 2539-2558.

YANAI, A. M. *Desmatamento no sul do Amazonas: Simulação do efeito da criação da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Juma*. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus/AM, 2010.

---