

# MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AMAZÔNIA

Carlos A Nobre  
Gilvan Sampaio  
Luis Salazar

**A**s influências do homem no equilíbrio natural do planeta atingiram magnitude sem precedentes. As mudanças climáticas antropogênicas estão associadas às atividades humanas com o aumento da emissão de gases de efeito estufa, de queimadas, com o desmatamento, a formação de ilhas urbanas de calor, etc. A Amazônia desempenha um papel importante no ciclo de carbono planetário, e pode ser considerada como uma região de grande risco do ponto de vista das influências das mudanças climáticas. Segundo Salati (2001), o atual equilíbrio dinâmico da atmosfera amazônica está sujeito a forças de transformação que levam às variações climáticas e podem ser estudadas sob três diferentes aspectos:

**1. Variações climáticas na região podem ser devidas às variações climáticas globais, decorrentes de causas naturais.** Essas mudanças estão relacionadas com variação da intensidade solar, variações da inclinação do eixo de rotação da Terra, variações da excentricidade da órbita terrestre, variações das atividades vulcânicas e variações da composição química da atmosfera, entre outras. Existem registros bem documentados sobre as oscilações climáticas na Amazônia ocorridas durante as glaciações e também de variações mais recentes da temperatura local. Os efeitos do El Niño, que é um fenômeno natural, podem estar incluídos dentro dessa categoria. O tempo de resposta às forças modificadoras pode ser em um período anual, de décadas e milênios. Não há muita coisa que a sociedade possa fazer contra essas tendências a não ser se preparar para minimizar seus efeitos quando houver possibilidade de previsões científicas, como é o caso específico das variações climáticas decorrentes do El Niño e La Niña.

**2. Mudanças climáticas de origem antrópicas, decorrentes de alterações do uso da terra dentro da própria região amazônica.** Tais alterações estão ligadas diretamente ao desmatamento de sistemas florestais para transformação em sistemas agrícolas e/ou pastagem, o que implica em transferência de carbono (na forma de dióxido de carbono) da biosfera pa-

ra a atmosfera, contribuindo para o aquecimento global, o qual por sua vez acaba atuando sobre a região amazônica. Evidências de estudos observacionais e estudos de modelagem (como por exemplo: Nobre et al., 1991; Betts et al., 1997, 2000; Chase et al., 2000; Zhao et al., 2001) demonstraram que mudanças na cobertura superficial podem ter um impacto significativo no clima regional e global. Evidências de trabalhos paleoclimáticos e de modelagem indicam que essas mudanças na vegetação, em alguns casos, podem ser equivalentes àquelas devidas ao aumento do CO<sub>2</sub> na atmosfera (Pitman and Zhao, 2000).

**3. Variações climáticas decorrentes das mudanças climáticas globais provocadas por ações antrópicas.** Se as tendências de crescimento das emissões se mantiverem, os modelos climáticos indicam que poderá ocorrer aquecimento até acima de 6°C em algumas regiões do globo até o final do século XXI. É provável que a temperatura média global durante o século XXI aumente entre 2,0°C a 4,5°C, com uma melhor estimativa de cerca de 3,0°C, e é muito improvável que seja inferior a 1,5°C. Valores substancialmente mais altos que 4,5°C não podem ser desconsiderados, mas a concordância dos modelos com as observações não é tão boa para esses valores (IPCC, 2007). Conclui-se que, mesmo no cenário de baixas emissões de gases do efeito estufa (cenário B1), as projeções dos diversos modelos do IPCC indicam aumento da temperatura, sobretudo no Hemisfério Norte.

Recentemente Ambrizzi et al. (2007), utilizando três modelos regionais que foram integrados numericamente para a América do Sul, a partir de dados iniciais obtidos do modelo climático global do Hadley Centre, concluíram que para o período 2071-2100, em relação ao período 1961-1990, o maior aquecimento ocorrerá na Amazônia com aquecimento entre 4-8°C para o cenário A2 de emissões de gases de efeito estufa e de 3-5°C para o cenário B2. Em relação à precipitação, o cenário B2 apresenta diminuição da precipitação no norte e em parte do leste da Amazônia, enquanto que o cenário A2 apresenta diminuição da precipitação no norte, leste e região central da Amazônia.

A partir do Relatório da Quarta Avaliação do IPCC (IPCC 2007), há maior certeza nas projeções dos padrões de aquecimento e de outras características de escala regional, inclusive das mudanças nos padrões do vento, precipitação e alguns aspectos dos eventos extremos e do gelo. A associação entre eventos extremos de tempo e clima observados e as mudanças do clima é recente. As projeções do IPCC (2007) indicam um maior número de dias quentes e ondas de calor em todas as regiões continentais, principalmente em regiões nas quais a umidade do solo vêm diminuindo. Há ainda projeções de aumento da temperatura mínima diária em todas as regiões continentais, principalmente onde houve retração de neve e de gelo. Além disso, dias com geadas e ondas de frio estão se tornando menos frequentes.

De acordo com o IPCC (2007), o aquecimento global pode levar a mudanças nos padrões de variabilidade de grande escala oceânica e atmosférica. Por exemplo, as projeções de diversos modelos indicam eventos El Niño-Oscilação Sul (Enso) mais intensos e há evidências observacionais que suportam essa projeção (Boer et al., 2004). O Enso está associado com algumas das mais pronunciadas variabilidades interanuais dos padrões climáticos em muitas partes do mundo.

**AQUECIMENTO GLOBAL, VARIABILIDADE NATURAL E EL NIÑO** As análises de diversos modelos climáticos globais indicam que com o aumento da temperatura global, devido ao aumento dos gases do efeito estufa, o clima do Pacífico tenderá a ficar parecido com uma situação de El Niño (Knutson and Manabe, 1995; Mitchell et al., 1995; Meehl and Washington, 1996; Timmermann et al., 1999; Boer et al., 2000). Entretanto, as razões para tal semelhança são variadas, e dependem da representação de processos físicos e parametrizações nos modelos (IPCC, 2007).

Para a Amazônia, estudos como Ropelewski and Halpert (1987, 1989), Marengo (1992, 2004), Uvo et al. (1998), Ronchail et al. (2002) e muitos outros identificaram que anomalias negativas de precipitação no centro, norte e leste da Amazônia são em geral associadas com eventos de El Niño-Oscilação Sul (Enso) e anomalias de TSM no Atlântico tropical. Esses estudos ressaltaram que algumas das maiores secas na Amazônia foram devidas a: 1. a ocorrência de intensos eventos de El Niño; 2. forte aquecimento das águas superficiais do Atlântico tropical norte durante o verão-outubro no Hemisfério Norte; ou 3. ambos (Marengo et al., 2007). A variabilidade das anomalias de TSM no Pacífico tropical é responsável por menos de 40% da variabilidade da precipitação na bacia amazônica (Marengo, 1992; Uvo et al., 1998; Marengo et al., 2007), o que sugere que os efeitos de outras fontes de variabilidade, tais como o gradiente meridional de TSM no Atlântico intertropical (que afeta principalmente a região norte e central da Amazônia), ou processos de superfície e grande frequência de transientes do Atlântico Sul (importante para o sul da Amazônia) podem ser também importantes na variabilidade inter-anual da precipitação na região (Marengo et al., 2003; Ronchail et al., 2002; Marengo et al., 2007).

**MUDANÇAS DOS USOS DA TERRA E CLIMA** Com respeito às modificações de temperatura para a Amazônia, segundo Nobre (2001), nota-se que a projeção de aumento de temperatura global segue a mesma tendência de aumento de temperatura à superfície devido ao desmatamento. As várias simulações dos efeitos climáticos da substituição da floresta por pastagens na Amazônia (por exemplo: Dickinson e Henderson-Sellers, 1988; Shukla et al., 1990; Lean e Warrilow, 1989; Nobre et al., 1991; Henderson-Sellers et

al., 1993; Manzi e Planton, 1996; Hahmann e Dickinson, 1997; Costa e Foley, 2000; Rocha, 2001; Werth e Avissar, 2002; Voldoire e Royer, 2004; Correia, 2005 e Sampaio et al., 2007) e as observações dos projetos Abracos (Gash et al., 1996; Gash and Nobre, 1997) e LBA (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia) indicam que há um aumento da temperatura entre 0,3°C e 3°C, redução da evapotranspiração entre 15% e 30% e os estudos numéricos indicam redução da precipitação entre 5% e 20% devido à mudança de vegetação de floresta para pastagem. Este aumento de temperatura é comparável àquele projetado para o cenário B1, mas bem inferior àquele previsto para o cenário A2 para o final do século XXI. Provavelmente os efeitos de aumento de temperatura induzidos pelas mudanças globais e aqueles advindos dos desmatamentos se somariam, aumentando o risco de incêndios florestais porque o secamento da vegetação na estação seca e sua flamabilidade são maiores com temperaturas mais altas. (Nepstad et al., 1999). Adicionalmente, Schneider et al. (2006) encontraram que o desflorestamento da Amazônia levaria a um aumento da variabilidade do Enso e um aquecimento médio anual no Pacífico equatorial leste. Esse aumento da variabilidade do Enso estaria relacionado com um aumento da temperatura da superfície na região desflorestada que levaria a mudanças no padrão de vento próximo à superfície, que se estenderiam até o Pacífico e Atlântico e afetariam o vento superficial sobre o oceano, com anomalias de oeste no Pacífico leste. Em resumo, para a Amazônia os aumentos projetados de temperatura atuariam como feedback positivo e aumentariam a suscetibilidade dos ecossistemas amazônicos às mudanças climáticas globais devido ao aumento do efeito estufa, e regionais devido ao desmatamento.

**MUDANÇAS DOS USOS DA TERRA E HIDROLOGIA** O efeito do desmatamento e das mudanças climáticas afeta o ciclo hidrológico em todas as escalas de tempo: em escalas de tempo de dias a meses, levam a mudanças na incidência de inundações; em escalas de tempo sazonais a interanual, mudanças nas características da seca é a principal manifestação hidrológica; e em escalas de anos a décadas, as teleconexões nos padrões de circulação global atmosférica, ocasionadas pela interação oceano-atmosfera, afetam a hidrologia de algumas regiões, especialmente nos trópicos, por diferentes eventos, entre eles o El Niño (Nijssen et al., 2001). A mudança climática representa um risco para o ciclo hidrológico na Amazônia, uma vez que o aumento de temperatura provocará uma maior evaporação e maior transpiração das plantas, o que levará a uma aceleração do ciclo hidrológico (Case, 2006). Se, além disso, a precipitação diminuir durante a estação seca, o impacto das mudanças climáticas no regime hidrológico na Amazônia será ainda mais agravado (Nijssen et al., 2001). A intensa seca ocorrida, no sudoeste da Amazônia em 2005, teve fortes impactos na navegação, agricultura, geração de hidroeletricidade, e afetou de forma direta e indireta a população ribeirinha de grande parte da Amazônia (Marengo et al., 2006).

**AQUECIMENTO GLOBAL E AMAZÔNIA** Desde a publicação do Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC e particularmente para o Quarto Relatório (IPCC 2007), há uma compreensão cada vez melhor dos padrões projetados de precipitação. É muito provável que ocorra aumento da quantidade de precipitação nas altas latitudes, enquanto que reduções são prováveis na maior parte das regiões continentais subtropicais (em até cerca de 20% no cenário A1B em 2100), continuando os padrões observados nas tendências recentes. Entretanto, há ainda muita incerteza em relação às

possíveis mudanças na precipitação pluviométrica em escala regional. De acordo com Li et al. (2006), os modelos climáticos globais do Intergovernmental Panel on Climate Change Fourth Assessment Report (IPCC AR4) prevêem diferentes padrões da precipitação na Amazônia sob a influência do cenário SRES A1B para a mudança climática global. Cinco de onze modelos estudados prevêem um aumento da precipitação anual, três modelos prevêem um decréscimo na precipitação e os outros três não indicam padrão significativo de mudança da precipitação na Amazônia. Incertezas nos padrões previstos de mudanças na TSM no Pacífico e Atlântico tropicais, representação de nuvens e feedbacks da superfície na Amazônia são as principais fontes das incertezas na previsão de mudanças na precipitação da Amazônia. Por outro lado, as projeções do IPCC (2007) indicam que é muito provável que haja um aumento da intensidade da precipitação em diversas regiões, sobretudo na região tropical. Além disso, há projeções de secas generalizadas em regiões continentais durante o verão.

Na Amazônia, a precipitação é sensível às variações sazonal, interanual e decadal da TSM (Fu et al., 2001; Liebmann and Marengo, 2001; Marengo, 2004). O aquecimento do Pacífico tropical leste durante eventos El Niño suprime a precipitação da estação chuvosa através da modificação da circulação de Walker (leste-oeste) e via os extratropicais no Hemisfério Norte (Nobre and Shukla, 1996). Variações na precipitação da Amazônia são também conhecidas por estarem relacionadas às TSMs no Atlântico tropical (Liebmann and 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., 2006).

Eventos extremos, como a seca de 2005 no oeste e sudoeste da Amazônia, num cenário futuro de aumento de CO<sub>2</sub> e diminuição de aerossóis, podem se tornar mais frequentes. É provável que um aumento na temperatura da superfície do mar no Atlântico norte tropical tenha sido a causa da seca de 2005 na Amazônia, já que havia a ausência de episódio El Niño. Isso implicou numa diminuição da intensidade dos ventos alísios de nordeste e do transporte de umidade do Atlântico tropical em direção a região amazônica. Segundo Marengo et al. (2007) as causas da seca ocorrida na Amazônia em 2005 não estão relacionadas ao El Niño, mas a três possíveis fatores: (1) o Atlântico norte tropical anormalmente mais quente do que o normal, (2) a redução na intensidade do transporte de umidade pelos alísios de nordeste em direção ao sul da Amazônia durante o pico da estação de verão, e (3) a diminuição do movimento vertical sobre esta parte da Amazônia, resultando num reduzido desenvolvimento convectivo e reduzida precipitação. Esses três fatores são dinamicamente consistentes na medida que águas mais quentes no oceano Atlântico tropical norte induziriam movimentos ascendentes atmosféricos sobre essa região, com abaixamento da pressão atmosférica, e movimentos descendentes compensatórios sobre a região da seca no oeste-sudoeste da Amazônia, e conseqüente aumento da pressão atmosférica. Esse padrão de anomalias de pressão reduziria a intensidade dos ventos alísios transportando umidade do oceano para a Amazônia.

**...ACONTECERÃO  
REARRANJOS  
IMPORTANTES  
NOS  
ECOSSISTEMAS  
E MESMO  
REDISTRIBUIÇÃO  
DE BIOMAS.**

**VARIABILIDADE CLIMÁTICA E INCÊNDIOS FLORESTAIS** Quando a floresta é sujeita a períodos anormalmente secos, aumenta a probabilidade de ocorrência de queimadas que podem destruir centenas de milhares de hectares de floresta e injetar na atmosfera grandes quantidades de fumaça e aerossóis que poluem o ar em extensas áreas, afetando a população e com potencial de afetar o início da estação chuvosa e a quantidade de chuva na região (Andreae et al. 2004). Considerando os cenários de mudança climática do modelo do HadCM3 para o IPCC/AR4, a duração da estação seca poderia aumentar em até dois meses ou mais na maior parte da Amazônia, o que levaria ao aumento da estação seca dos atuais 3-4 meses para 5-6 meses na Amazônia central e oriental. Esse aumento da estação seca implicaria num aumento do risco da ocorrência de queimadas e mudança na climatologia da chuva o que favoreceria a substituição da floresta por savana (Li et al., 2006). Esses impactos ecológicos afetam a possibilidade de manejo sustentável da floresta na região, o que é uma premissa básica para a economia regional (Brown et al., 2006).

O risco dos impactos das mudanças climáticas na Amazônia aumenta ainda mais quando somamos ao aquecimento global as alterações de vegetação resultantes das mudanças dos usos da terra, notadamente os desmatamentos das florestas tropicais e dos cerrados. Um outro fator importante é o fogo, pois a floresta densa amazônica era praticamente impenetrável ao fogo, mas devido à combinação da fragmentação florestal, desmatamentos e aquecimento em razão dos próprios desmatamentos e devido ao aquecimento global, aliada a prática agrícola predominante que utiliza fogo intensamente, esse quadro está rapidamente mudando e a frequência de incêndios florestais vem crescendo a cada ano. Com isso, é quase certo que acontecerão rearranjos importantes nos ecossistemas e mesmo redistribuição de biomas. A assombrosa velocidade com que tais alterações estão ocorrendo, em comparação àquelas dos processos naturais em ecossistemas, introduz séria ameaça à mega-diversidade de espécies da flora e da fauna dos ecossistemas, em especial da Amazônia, com o provável resultado de sensível empobrecimento biológico (Nobre et al, 2005).

**MUDANÇAS CLIMÁTICAS, BIOMAS E BIODIVERSIDADE** Segundo Nobre (2001), para a Amazônia, se houver redução de precipitações induzidas pelas mudanças climáticas globais, estas se somam às reduções previstas como resposta ao desmatamento (Nobre et al., 1991), aumentando sobremaneira a suscetibilidade dos ecossistemas amazônicos ao fogo e causando a redução das espécies menos tolerantes à seca, podendo até induzir uma “savaniização” de partes da Amazônia. Para a América do Sul tropical, tomando-se uma média dessas projeções de aumento de temperatura, constata-se a projeção do aumento da área de savanas e uma diminuição da área de caatinga no semi-árido do Nordeste do Brasil. Salazar et al. (2007) calcularam, utilizando cenários climáticos de 15 modelos climáticos globais do IPCC-AR4, as áreas onde o consenso dos modelos (> 11 modelos) indicam mudanças nos biomas na América do Sul tropical nos cenários A2 e B1 de emissões de gases de efeito estufa. Para o período 2020-2029, 3.1% da floresta tropical seria substituída por savana, e para finais do século (2090-2099) a área que será substituída aumenta para 18% no cenário A2. Esta mudança nos biomas, devido ao aquecimento global, ocorre principalmente no sudeste da

Amazônia, região esta que coincide com uma zona que teoricamente apresenta dois estados de equilíbrio vegetação-clima: 1. o primeiro que corresponde ao padrão de vegetação atual com a maior parte da Amazônia recoberta por floresta tropical e 2. um segundo estado de equilíbrio, onde a parte leste da Amazônia é substituída por savanas (Oyama e Nobre, 2003). Isso tem repercussões muito importantes, já que a mudança climática pode ser um dos fatores que poderiam levar o sistema de um estado de equilíbrio para outro no leste da Amazônia. Outros estudos também apontam para redução das áreas de floresta (White et al., 1999; Cramer et al., 2001; Scholze et al., 2006; Cook and Vizy, 2007) ou seu completo colapso (Jones et al., 2003; Cox et al., 2004)

Em Scholze et al. (2006), o risco de perda da floresta em algumas partes da Amazônia é de mais de 40% para os cenários que apresentam uma anomalia de temperatura maior que 3°C. Por outro lado, se houver tendência ao aumento das precipitações, estes atuam para contrabalançar a redução das chuvas devido ao desmatamento e o resultado final seria mais favorável à manutenção dos ecossistemas e espécies.

Adicionalmente, alguns estudos têm mostrado que o estômatos da planta abre menos com altas concentrações de CO<sub>2</sub> (Field et al., 1995), o que reduz diretamente o fluxo de umidade da superfície para a atmosfera (Sellers et al., 1996). Isto pode aumentar a temperatura do ar próximo da superfície pelo aumento da razão entre o fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente. Num região como a Amazônia, onde muito da umidade para a precipitação advém da evaporação à superfície, a redução da abertura estomatal pode também contribuir para um decréscimo na precipitação (Betts et al., 2004).

Se grandes áreas da Amazônia forem substituídas por savana, a aridez poderá aumentar já que a vegetação adaptada ao fogo tem uma menor transpiração. Em Scholze et al. (2006) conclui-se que é provável uma maior frequência de fogo (risco > 60% para temperatura > 3°C) em muitas zonas da América do Sul. Em Hutyra et al. (2005) é mostrado que as florestas presentes em áreas com alta frequência de secas (> 45% de probabilidade de seca) podem mudar para savana, se a aridez aumentar como previsto pelos cenários de mudança climática (Cox et al., 2004; Friedlingstein et al., 2003). Portanto cerca de 600.000 km<sup>2</sup> de floresta estarão em potencial risco de desaparecer (> 11% da área total vegetada).

A floresta amazônica contém uma grande parte da biodiversidade do mundo, pois mais de 12% de todas as plantas com flores são encontradas na Amazônia (Gentry, 1982). Sendo assim, ameaças à existência da floresta amazônica indicam sérias ameaças à biodiversidade. Entretanto, existem poucos estudos sobre os efeitos das mudanças climáticas na distribuição de espécies. Em nível global, Thomas et al. (2004) avaliaram o risco de extinção de espécies para áreas que cobrem cerca de 20% da superfície terrestre, e encontraram que entre 15% e 37% das espécies estariam comprometidas com risco de extinção até o ano de 2050. Em nível regional, as simulações de Miles et al. (2004), baseando-se nos cenários futuros do HADCM2-Gsa1 (que assume um aumento anual de 1% na concentração de CO<sub>2</sub>), mostraram que 43% do conjunto de espécies arbóreas analisadas na Amazônia seriam não-viáveis para o ano de 2095. Para que as espécies afetadas possam atingir novas zonas bioclimáticas, a dispersão e migração deverão ser feitas em centenas de quilômetros (Hare, 2003). Muitos desses experimentos de modelagem não têm considerado as influências não-climáticas como as mudanças do uso da terra, o desmatamento, a disponibilidade de água, as pestes e doenças, queimadas, e todas as outras que possam limitar

a migração e dispersão de espécies (Case, 2006). No trabalho de Sala et al. (2000), estudou-se a mudança na biodiversidade para o ano 2100, considerando alguns desses aspectos e identificou-se que, para os biomas tropicais, os principais agentes que afetam a biodiversidade são o uso da terra e as mudanças climáticas.

**CONCLUSÃO** A Amazônia vem sendo submetida a pressões ambientais de origem antrópica crescentes nas últimas décadas, tanto pressões diretas advindas dos desmatamentos e dos incêndios florestais, como pressões resultantes do aquecimento global. A estabilidade climática, ecológica e ambiental das florestas tropicais amazônicas está ameaçada por essas crescentes perturbações, que, ao que tudo indica, poderão tornar-se ainda maiores no futuro. A ciência ainda não consegue precisar quão próximos estamos de um possível ponto de ruptura do equilíbrio dos ecossistemas e mesmo de grande parte do bioma Amazônico, mas o princípio da precaução nos aconselha a levar em consideração que tal ponto de ruptura pode não estar distante no futuro. Um colapso de partes da floresta tropical trará consequências adversas permanentes para o planeta Terra.

*Carlos A. Nobre, Gilvan Sampaio, Luis Salazar são pesquisadores do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe)*

#### BIBLIOGRAFIA SUGERIDA:

- Ambrizzi, T.; Rocha, R.; Marengo J.; Pispitchenko, A. I.; Alves, L.; Fernandez, J. P. "2007: Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI: projeções de clima usando três modelos regionais". *Relatório 3*, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Diretoria de Conservação da Biodiversidade - Mudanças climáticas globais e efeitos sobre a biodiversidade - Sub projeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília, fevereiro 2007.
- Andreae, M. et al. "Smoking rain clouds over the Amazon", *Science*, 303, 1337-1342. 2004.
- Betts R.A.; Cox, P.M.; Harris, C.; Huntingford, C.; Jones, C.D. "The role of ecosystem-atmosphere interactions in simulated Amazon forest dieback under global climate warming". *Theoretical and Applied Climatology*, 78, 157-175. 2004.
- Betts, R.A.; Cox, P.M.; Lee, S.E. and Woodward, F.I. "Contrasting physiological and structural vegetation feedbacks in climate change simulations". *Nature*, 387, 796-799. 1997.
- Betts, R.A.; Cox, P.M.; Lee, S.E. and Woodward, F.I. "Simulated responses of potential vegetation to doubled-CO<sub>2</sub> climate change and feedbacks on near-surface temperature". *Global Ecology and Biogeography*, 9, 171-180. 2000
- Boer, G.J.; Flato, G. and Ramsden, D. "A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: projected climate for the 21st century". *Clim. Dyn.* 16, 427-450. 2000.
- Brown, I.F.; Schroeder, W.; Setzer, A.; Maldonado, M.; Pantoja, N.; Duarte, A. and Marengo, J. "Fires in rain forests of southwestern Amazonia: Multi-national satellite imagery for monitoring and for informing the public". *EOS Transactions*, 87(26), 253-264. 2006.
- Case, M. "Climate change impacts in the Amazon: review of scientific literature (World Wildlife Fund - WWF)". 8th Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity. 20-31 March, Curitiba, Brazil. 2006

- Chase, T.N.; Pielke, R.A.; Kittel, T.G.F.; Nemani, R.R. and Running, S.W. "Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter". *Clim. Dyn.*, 16, 93-106.2000.
- Correia, F. W. S. "Modelagem do impacto de modificações da cobertura vegetal amazônica no clima regional e global". Tese de doutorado, Inpe - São José dos Campos, 2005.
- Costa, M. H. e Foley, J. A., "Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO2 concentrations on the climate of Amazonia". *J. Climate* 13:18-34, 2000.
- Cox P.M.; Betts,R.A.; Collins, M.; Harris,P.P.; Huntingford, C. and Jones, C.D. "Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century". *Theoretical and Applied Climatology*, 78, 137-156. 2004.
- Cook, K.H. and Vizy,E.K. "Effects of 21st century climate change on the Amazon Rainforest". *Journal of Climate*. Submitted. 2007.
- Cramer, W. A.et.al. "Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO2 and climate change: results from six dynamic global vegetation models". *Global Change Biology* 7, 357-373. 2001.
- Dickinson, R.E. and Henderson-Sellers, A. " Modeling tropical deforestation: a study of GCM land-surface parameterizations". *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 114: 439-462, 1988.
- Field, C.B.; Randerson, J.T. and Malmstrong, C.M. "Global net primary production: combining ecology and remote sensing". *Rem. Sens. Environ.*, 51, 74-88. 1995.
- Friedlingstein, P.; Dufresne, J. L.; Cox, P. M. and Rayner, P. "How positive is the feedback between climate change and the carbon cycle", *Tellus*, Ser. B, 55, 692- 700. 2003
- Fu, R.; Dickinson, R. E.; Chen, M. and Wang, H. "How do tropical sea surface temperatures influence the seasonal distribution of precipitation in the equatorial Amazon?", *J. Clim.*, 14, 4003-4026. 2001.
- Gash, J.H.C., Nobre, C.A.; Robert, J.M. and Victoria, R.L. *Amazonian deforestation and climate*. Wiley, Chichester, 595. 1996.
- Gash, J.H.C.; Nobre, C.A. "Climatic effects of Amazonian deforestation: Some results from Abracos". *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.78, n.5, p.823-830.1997.
- Gentry, A.H. "Neotropical floristic diversity". *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 69: 557-593. 1982.
- Hahmann, A.; Dickinson, R. E. "RCCM2-BATS model over tropical South America: applications to tropical deforestation" - *Journal of Climate*, v.10, 1944-1964, 1997.
- Hare, W. "Assessment of knowledge on impacts of climate change contribution to the specification of art. 2 of the UNFCCC". WBGU Potsdam, Berlin.2003.
- Harris P.P; Huntingford, C.; Cox, P.M. "Influence of Atlantic and Pacific SST on Amazon basin future climate change." *Geophysical Research Letters*, submitted.
- Henderson-Sellers, A. et.al. "Tropical deforestation modeling local to regional scale climate change". *Journal of Geophysical Research*, vol. 98 (D4), pp. 7289-7315, 1993.
- Hutyra, L.R., Munger,J.W.; Nobre, C.A.; Saleska,S.R. and Vieira, S.A. "Climatic variability and vegetation vulnerability in Amazônia". *Geophysical Research Letters*, 32, L24712, doi:10.1029/2005GL024981.2005.
- IPCC Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 881 pp.
- IPCC Climate Change 2007: Summary for policymakers. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jones, C. D.; Cox,P. M.; Essery,R. L. H.; Roberts,D. L. and Woodage, M. J. "Strong carbon cycle feedbacks in a climate model with interactive CO2 and sulphate aerosols". *Geophysical Research Letters* 30(9): 1479. 2003.
- Knutson, T.R. and Manabe, S. "Time-mean response over the tropical Pacific to increased CO2 in a coupled ocean-atmosphere model". *J. Climate*, 8, 2181-2199.1995.
- Lean, J.; Warrilow, D.A. "Simulation of the regional climatic impact of Amazon deforestation". *Nature*, v.342 (6248), pp. 411-413, 1989.
- Li, W.; Fu, R. and Dickinson,E. "Rainfall and its seasonality over the Amazon in the 21st century as assessed by the coupled models for the IPCC AR4". *Journal of Geophysical Research*, 111, D02111.2006.
- Liebmann, B. and Marengo,J. A."Interannual variability of the rainy season and rainfall in the Brazilian Amazon Basin", *J. Clim.*, 14, 4308- 4318. 2001.
- Manzi, A. O.; Planton, S. "A simulation of Amazonian deforestation using a GCM calibrated with Abracos and Arme data". In: Gash, J.H.C. et. al. ed. *Amazonian deforestation and climate*. chicester, UK. John Wiley, pp. 505-529, 1996.
- Marengo, J. "Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin". *Theoretical and Applied Climatology*. 78, 79-96. 2004.
- Marengo, J. A. "Interannual variability of surface climate in the Amazon basin", *Int. J. Climatol.*, 12, 853-863. 1992.
- Marengo, J.A.; Liebmann,B.; Kousky,V.E.; Filizola,N.P. and Wainer, I.C. "Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin", *J. Clim.*, 14, 833- 852. 2001.
- Marengo, J. A. et.al. "Ensemble simulation of regional rainfall features in the CPTEC/COLA atmospheric GCM". *Climate Dynamics* 21, 459-475. 2003.
- Marengo, J.A. et.al."The Drought of Amazonia in 2005". *Journal of Climate*, Submitted. 2007.
- Meehl, G.A. and Washington, W.M. "El Nino-like climate change in a model with increased atmospheric CO2-concentrations". *Nature*, 382, 56-60.1996.
- Miles, L.; Grainger, A. and Phillips, O.L. "The impact of global climate change on tropical forest biodiversity in Amazonia". *Global Ecology and Biogeography* 13: 553-565.2004.
- Mitchell, J.F.B.; Johns,T.C.; Gregory, J.M. and Tett, S.F.B.; "1995: Climate response to increasing levels of greenhouse gases and sulphate aerosols". *Nature*, 376, 501-504.
- Nepstad, D.C. et.al. "Large scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire". *Nature*, v.398, n.6727, p.505-508. 199.
- Nijssen, B., O'Donnell,G.M.; Hamlet, A.F. and Lettenmaier,D.P. "Hydrologic sensitivity of global rivers to climate change". *Climate Change* 50(1-2):143-175. 2001.
- Nobre, C.; Assad, E.D. "Mudança ambiental no Brasil. Em Terra na estufa", edição especial *Scientific American Brasil*, no 12, pp. 70-75. 2005.
- Nobre, C.A., "Amazônia: fonte ou sumidouro de carbono?" Em: *Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia*. Ministério do Meio Ambiente, p.197-224. 2001.
- Nobre, C.A., Sellers,P.J. and Shukla,J. "Amazonian deforestation and regional climate change". *J. Clim.*, 4, 957-988.1991.
- Nobre, P., and Shukla, J. "Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America", *J. Clim.*, 9, 2464- 2479. 1996.
- Oyama, M. D., and Nobre,C.A."A new climate-vegetation equilibrium state for Tropical South América". *Geophysical Research Letters*, v.30, n. 23, 2199. doi: 10.1029/2003GL018600. 2003.
- Pitman, A.J. and Zhao,M. "The relative impact of observed change in land cover and carbon dioxide as simulated by a climate model". *Geophys. Res. Lett.*, 27, 1267-1270. 2000.
- Rocha, E. J. P. "Balanço de umidade e influência de condições de contorno supe-

- rificiais sobre a precipitação da Amazônia". Tese de doutorado em meteorologia. Inpa, São José dos Campos, 170p.2001.
- Ronchail, J. et.al. "Interannual rainfall variability in the Amazon basin and sea-surface temperatures in the equatorial Pacific and the tropical Atlantic Oceans", *Int. J. Climatol.*, 22, 1663-1686.2002.
- Ropelewski, C.F.; Halpert, M.S. "Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation". *Mon. Wea. Rev.*, 115:1606-1626.1987.
- Ropelewski, C.F. and Halpert, M.S. "Precipitation patterns associated with the high index phase of the southern oscillation". *Journal of Climate*, 2, 268-284.1989.
- Sala, O.E. et.al. "Global biodiversity scenarios for the year 2100". *Science* 287:1770-1774. 2000.
- Salazar, L.F.; Nobre, C.A. and Oyama, M.D. "Climatic change consequences on the biome distribution in tropical South America". *Geophysical Research Letters*. *In press*. 2007.
- Salati, E. "Mudanças climáticas e o ciclo hidrológico na Amazônia". Em: Causas e dinâmica do desmatamento na Amazônia. Ministério do Meio Ambiente, 2001, p.153-172.2001.
- Sampaio, G. et.al. "Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion". Submitted in *Geophys. Res. Lett.*, 2007.
- Scholze, M. et.al. "A climate-change risk analysis for world ecosystems". *PNAS*, 103 (35), 13116-13120. 2006.
- Schneider, E. K.; Fan, M.; Kirtman, B. P. and Dirmeyer, P. "Potential effects of Amazon deforestation on tropical climate", *Cola Technical Report*, 226, 1-41.2006.
- Sellers, P.J., et.al. "Comparison of radiative and physiological effects of doubled atmospheric CO2 on climate. *Science*, 271, 1402-1406.1996.
- Shukla, J.; Nobre, C.; Seller, P.J. "Amazon deforestation na climate change", *Science*, 247, 1322-1325.1990.
- Thomas, C.D. et.al. "Extinction risk from climate change". *Nature*, 427 (6970). pp. 145-148.2004.
- Timmermann A.; Oberhuber, J.; Bacher. A. et al. "Increased El Niño frequency in a climate model forced by future greenhouse warming". *Nature*, 395, 694-697.1999.
- Uvo, C. R. et.al. "The relationship between tropical Pacific and Atlantic SST and northeast Brazil monthly precipitation", *J. Clim.*, 11, 551- 562. 1998.
- Voltaire, A.; Royer, E. J. F. "Tropical deforestation and climate variability". *Climate Dynamics*, v. 22, p. 857-874. 2004.
- Werth, D. e Avissar, R. "The local and global effects of Amazon deforestation", *J. Geophys. Res.*, 107(D20), 8087, doi:10.1029/2001JD000717. 2002.
- White, A.M.; Cannell, G.R. and Friend, A.D. "Climate change impacts on ecosystems and the terrestrial carbon sink: a new assessment". *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*, 9, S21-S30. 1999.
- Zhao, M.; Pitman, A.J. and Chase, T. "The impact of land cover change on the atmospheric circulation". *Clim. Dyn.*, 17, 467-477.2001.

## ANÁLISE DAS MODIFICAÇÕES DA PAISAGEM DA REGIÃO BRAGANTINA, NO PARÁ, INTEGRANDO DIFERENTES ESCALAS DE TEMPO

Ima Célia Guimarães Vieira  
Peter Mann de Toledo  
Arlete Almeida

### CONTEXTO TEÓRICO DAS MUDANÇAS DE PAISAGEM NA AMAZÔNIA O

domínio biogeográfico amazônico é caracterizado por um complexo arranjo espacial de biomas, que varia na sua composição florística e nos respectivos elementos da fauna associados. A origem e manutenção das sucessivas paisagens da Amazônia ao longo do tempo geológico têm captado o interesse da comunidade científica, cujo desafio está em discutir a contribuição dos principais processos ecológicos e fatores históricos que culminaram com o padrão atual de diversidade biológica da região.

A evolução da região leste do Pará, que a partir do século XVIII foi denominada Bragantina, ocorreu sob o domínio de um sistema climático preponderantemente tropical, a partir de sucessivas transformações de ecossistemas, influenciadas principalmente por câmbios climáticos e, secundariamente, por eventos geológicos, nos últimos 25 milhões de anos. Dados diretos e indiretos oriundos de diferentes áreas das ciências naturais sugerem que as espécies que constituem a vegetação de floresta densa dessa região já poderiam ter estado presentes desde o Neógeno (1 e 2).

A composição atual de animais e plantas dessa região é fruto da dinâmica de distribuição de espécies, através do tempo geológico. O último pulso de expansão das espécies florestais e crescimento da biomassa, na região amazônica como um todo, caracteriza-se pelo padrão de cobertura geográfica atual da hiléia e ocorreu de forma acelerada nos últimos quatro mil anos (3). Estudos evidenciam que, em determinados períodos de expansão das florestas úmidas dentro de um ótimo climático, havia conexão entre elementos dos biomas da Mata Atlântica e da Amazônia conectados (4). Essas evidências e hipóteses indicam que o dinamismo apresentado na distribuição e adaptação de espécies da Bragantina estão em sintonia com teses mais gerais sobre processos históricos e ecológicos, que atuam na estruturação da paisagem.

Pesquisas do início do século XX, mostram que a cobertura vegetal da região Bragantina esteve conformada por uma floresta tropical úmida clímax que suportava madeiras de lei (5 e 6). De acordo com os critérios fitogeográficos, a região Bragantina tem sido designada, segundo Huber (1909)(5), como "mata da Estrada de Ferro de Bragança"; Ducke & Black (1954) (7) a descrevem como parte do setor Atlântico da Amazônia; Rizzini (1963)(8), a caracteriza dentro do setor sudeste das terras baixas do Terciário e como uma sub-província da província amazônica; Ackermann (1966)(9), a inclui dentro da hiléia amazônica; Hueck (1966) *apud*. Denich (1991)(10), a descreve como uma região de floresta amazônica que pertence ao Tocantins e Gurupi; Pires (1973)(11) a reconhece como uma zona de transição entre Amazônia e o Brasil Central. Após intenso uso da terra por mais de 150 anos, essa área, antes coberta por florestas, apresenta uma paisagem frag-