

VARIABILIDADE E TENDÊNCIA DAS CHUVAS EM RIO BRANCO, ACRE, BRASIL

ALEJANDRO FONSECA DUARTE

Universidade Federal do Acre – UFAC alejandro@ufac.br
Departamento de Ciências da Natureza – DCN. BR 364, Distrito Industrial
CEP: 69.915-900 – Rio Branco – AC, Brasil

Recebido Março 2003 - Aceito Novembro 2004

RESUMO

No presente trabalho investigou-se o comportamento das chuvas na região de Rio Branco com base em observações *in-situ* de longo prazo, durante 31 anos, entre 1970 e 2000, observando-se uma tendência de aumento do volume nas precipitações anuais, antes de 1990, seguida de diminuição desse volume até 2003. O objetivo deste trabalho é chamar a atenção para a possível relação entre o comportamento das chuvas em Rio Branco e a consolidação do desmatamento em regiões da Amazônia oriental e central ocorrida durante o período analisado. Embora as correlações que expliquem esse comportamento sejam difíceis de estabelecer, é sabido que a modificação no balanço térmico entre solo e atmosfera após o desmatamento, bem como a poluição atmosférica devido às queimadas florestais, podem levar a modificações convectivas, influenciadas pela perda de umidade no solo e na vegetação, e também à supressão da formação de nuvens. Como consequência poderia esperar-se, uma provável relação de impacto do desflorestamento sobre o clima regional.

Palavras-chave: Variabilidades das chuvas; Desflorestamento na Amazônia.

ABSTRACT: RAINFALL VARIABILITY AND TREND IN RIO BRANCO, ACRE, BRAZIL

In the present work, the behavior of rain in the region of Rio Branco, based on long term observations, *in situ*, for 31 years between 1970 and 2000 was studied. It was observed a tendency to the increase of the volume of annual precipitations before 1990, followed by a reduction of this volume, until 2003. The aim of this work is to call attention to a possible relation between the behavior of rainfalls in Rio Branco and the consolidation of deforestation in regions of eastern and central Amazonia that happened during the analyzed period. Although, the explanation to this behavior is difficult to establish, it is known that changes in thermal balance between ground and atmosphere after deforestation, as well as atmospheric pollution due to forest burning, can lead to convective changes, influenced by loss of ground and vegetation humidity and also to suppression of cloud formation. As a consequence, a likely relation of impact of the deforestation over the regional climate could be expected.

Key words: Rainfall variability; Amazonian deforestation.

1. INTRODUÇÃO

Os processos que produzem chuva numa determinada região se acoplam de maneira intrincada. Genericamente, são processos de inter-relação entre a superfície terrestre – suas condições de cobertura, relevo, localização relativa – e a atmosfera, envolvendo sua dinâmica em diferentes escalas espaciais e temporais. As condições e a dinâmica anteriormente expressadas determinam o balanço de energia solar, a formação de nuvens pela via da evapotranspiração a partir da floresta e de aerossóis biogênicos que são a principal fonte de núcleos de condensação na Amazônia (Artaxo, 2002), e pelos aerossóis oriundos da queima de biomassa florestal que podem afetar a ocorrência de precipitações, devido à diminuição do tamanho das gotas de água nas nuvens e outros efeitos, atrasando a chegada da estação chuvosa e influenciando na circulação geral da atmosfera a partir dos trópicos (Andreae et al., 2004).

Desta forma, a supressão da floresta implica na diminuição de núcleos de condensação de nuvens rasas. Assim,

conseqüentemente, tal mecanismo estaria influenciando na diminuição das precipitações na época chuvosa tanto a nível local, quanto em outras regiões. No período da seca as concentrações de aerossóis alteram o balanço de radiação fazendo com que o perfil de variação da temperatura da atmosfera com a altura seja modificado no sentido de dificultar a formação de nuvens (Artaxo et al. 2003). A absorção de radiação solar por aerossóis chega a ser alta em extensas regiões, em torno de 2 a 4 milhões de quilômetros quadrados na Amazônia, alcançando valores próximos a 400 W m^{-2} em Mato Grosso; em Rio Branco têm-se observado picos de aproximadamente um quarto desse valor. Hans-F. (2004) faz notar que os aerossóis atmosféricos, em altas concentrações durante o período de seca na Amazônia, ou em menores concentrações nas regiões subtropicais, onde ao mesmo tempo a umidade do ar é menor, produzem efeitos de supressão de precipitações dependendo dos perfis verticais de temperatura, umidade e vento. Esses efeitos se relacionam, por um lado, com o transporte de poluentes até alturas superiores em nuvens

convectivas profundas (Andreae et al., 2004); e, por outro lado, com a supressão das chamadas nuvens de camada limite. Dentre outros trabalhos, Koren et al. (2004) também coincidem em apontar a diminuição de precipitação na Amazônia por efeito dos aerossóis da fumaça. A fumaça reduz, em média, 15 % a radiação incidente sobre a floresta, ocasionando menor evapotranspiração, fazendo com que a atmosfera seja mais seca e estável, implicando uma menor formação de nuvens. Outros mecanismos apontados pelos mesmos autores consistem na estabilização da camada limite, com a sua conseqüente redução de nuvens; o aumento da capacidade de se manter o vapor de água a maior temperatura diminuindo a probabilidade de sua sobre-saturação (condensação) para formar nuvens; etc. As medições de Koren et al. (2004) demonstram que, tanto no leste quanto no oeste da Amazônia, a formação de nuvens diminui com o aumento da presença de fumaça, obtendo-se que para uma profundidade óptica de aerossóis da fumaça de valor 0,6 a formação de nuvens diminui em 50 %. Vale mencionar que a profundidade óptica de aerossóis atmosféricos, medida em Rio Branco mediante fotometria solar, alcança valores médios diários entre 0,5 e 0,7 para o mês de setembro, durante as intensas queimadas de biomassa na Amazônia.

Os efeitos sobre as chuvas dos mecanismos acima mencionados podem ser responsáveis pela metade do volume de água movimentado no ciclo hidrológico na Amazônia. A outra metade vem da contribuição dos Oceanos Atlântico e Pacífico. A influência da temperatura da superfície marítima no Pacífico (El Niño e La Niña), bem como no Atlântico, determinam, também, os comportamentos de chuvas na América do Sul, como são as anomalias de precipitações. Por exemplo, a quantidade de episódios de ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) durante anos de El Niño, no trimestre chuvoso de dezembro, janeiro e fevereiro, foi menor do que para anos normais ou de ocorrência de eventos La Niña, entre 1980 e 2000 (Ferreira, 2004); significando-se com isso, possivelmente, a inexistência de qualquer tendência para a diminuição das chuvas, nesse período. O trabalho de Herdies et al. (2002) informa o resultado de modelação do transporte de umidade na América do Sul, em particular na Amazônia. Nos meses de maior precipitação, janeiro e fevereiro de 1999, em ausência da Zona de Convergência do Atlântico Sul, uma das principais trajetórias do transporte de umidade atravessa o Continente do leste a oeste, próxima a 10° de latitude Sul, partindo do Atlântico equatorial, passando pelas regiões desmatadas da bacia amazônica, pelo Acre e Peru até chegar ao Oceano Pacífico. Marengo (2004) tem estudado com detalhe as possíveis variações no regime de chuvas na Amazônia durante várias décadas. Como resultado encontra diferentes comportamentos nas tendências pluviométricas para as regiões sul e norte da Amazônia, bem como reporta, para toda a Amazônia, uma tendência ao aumento das precipitações, motivada por variações acontecidas na circulação atmosférica que favoreceram o transporte de umidade. Aparentemente cada parte da Amazônia, além do norte e do sul, tem um comportamento próprio com respostas particulares aos eventos de El Niño e La Niña, bem como ao longo de períodos

diferentes. As anomalias e as tendências das precipitações, em várias escalas temporais, podem estar relacionadas com a temperatura dos oceanos, essa influência no clima regional e global, não pode ser diferenciada completamente daquela devida às mudanças na cobertura do solo, motivadas pelas atividades humanas na Amazônia. Ambas influências se retro-alimentam e, é de se esperar que a intervenção humana, com seus impactos negativos sobre os ambientes, acarrete, cada vez mais, notáveis sinais de mudanças climáticas.

Tentativas de visualizar a influência do desflorestamento na Amazônia sobre o clima têm sido feitas ademais pela via da modelagem (Nobre et al. 1991; Werth e Avissar, 2002), prevendo-se reduções nas precipitações, na evapotranspiração e na cobertura de nuvens.

É importante destacar, a existência de medições do efeito local do desflorestamento sobre a temperatura e umidade do solo, bem como sobre os fluxos de energia em áreas de floresta e de pastagem. Tais medições, como as realizadas em Rondônia (Silva Dias et al. 2002), revelam que, durante a época de chuvas, o fluxo de calor para o solo alcança até 10 W m⁻² na floresta, enquanto pode chegar até 50 W m⁻² na pastagem; por outro lado, a variação de temperatura durante o dia é menor no solo da floresta; sobre a qual, ademais, a cobertura de nuvens é maior. Na escala global é importante considerar os impactos vindos do aumento da concentração de gases de efeito estufa, assim, resumidamente, as oscilações naturais do sistema clima podem estar refletindo modificações causadas no uso da terra, em particular, o desflorestamento (Gash et al. 2004).

A descrição da tendência na variabilidade das chuvas em Rio Branco, registrada no presente trabalho, visa considerar a hipótese de sua relação com os desmatamentos em regiões da Amazônia ao leste do Acre como: Rondônia, Mato Grosso, etc. Essa relação pode se dar pela influência que a perda de vegetação, as altas concentrações de aerossóis na atmosfera durante parte do ano e o transporte de umidade exercem sobre as chuvas.

Certamente, diferenças entre regiões e a ocorrência de processos naturais recorrentes podem mascarar qualquer aparente relação entre o aumento do desflorestamento e a variação no regime de chuvas numa região. Atualmente a ciência trata de entender as variações climáticas que acontecem nas escalas sazonais, interanuais, de décadas e centenas de anos influenciadas por variações biofísicas na Amazônia. Observar uma variação no comportamento das chuvas em Rio Branco, como neste caso, não significa ter achado uma de suas possíveis causas no desflorestamento na Amazônia, sem grandes margens de erros.

2. DADOS E METODOLOGIA

2.1. Contexto

As regiões mais pesquisadas sobre o clima na Amazônia são a Central e a Oriental, mas muitos resultados dessas pesquisas estão generalizados para toda a Amazônia. Por exemplo, no trabalho Clima da Amazônia de Fisch et al. (1998) os sítios experimentais mencionados localizaram-se

em Rondônia, Mato Grosso e Amazonas, principalmente, mas não se incluem dados de verdade em terra observados no Acre. Semelhante situação é comum aos artigos do livro *Amazonian Deforestation and Climate* editado por Gash et al. (1996), no qual os sítios experimentais se localizaram nos Estados do Pará, Amazonas e Rondônia.

O Estado do Acre tem permanecido relativamente isolado, no extremo mais ocidental da Amazônia brasileira. A área total do Estado é de 153.150 km²; dela entre 8 e 10 % está desflorestada, basicamente na parte leste. A taxa de desflorestamento é de aproximadamente 550 km² por ano. O Acre carece de um sistema de estações meteorológicas. Somente uma estação, a de Rio Branco, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), funciona a mais de 30 anos (desde 1968). Outras estações como as de Cruzeiro do Sul e de Tarauacá são mais recentes e têm sido prejudicadas pela falta de continuidade na coleta de dados.

No trabalho de revisão de Marengo (2001) existe referência à possibilidade de erros nas observações pluviométricas, assunto levantado por Molion (2002); ademais, se reconhece que “Apesar do rápido desmatamento observado atualmente no Brasil” ... “ainda são poucas as evidências para uma diminuição generalizada de precipitação”. Essas poucas evidências podem estar ligadas à falta de cobertura da Amazônia com redes de estações para observações meteorológicas, ou à falta de divulgação das informações pontuais vindas das observações existentes.

Em Rio Branco existe um período de seca curto (de junho a agosto); um mês de transição entre seca e chuvas (setembro); um período chuvoso mais prolongado (de outubro a abril), sendo de dezembro a março o período mais chuvoso; e uma transição (mês de maio) na passagem da época de chuvas para a seca. A variabilidade interanual das chuvas em Rio Branco é apreciável (desvio padrão de 228 mm) como habitualmente acontece no trópico úmido. Os parâmetros que caracterizam as chuvas se dão na Tabela 1.

Tabela 1. Características das chuvas (mm) em Rio Branco, com base nos anos 1970 a 2000.

Média	Mediana	Desvio padrão	Máximo (ano 1986)	Mínimo (ano 1970)
1944	1885	228	2425	1566

2.2. Descrição e modelagem

Os dados sobre chuvas foram tomados na cidade de Rio Branco nos sítios Estação Experimental (desde junho de 1968), Segundo Distrito (desde dezembro de 1974), e no Campus universitário da UFAC (desde maio de 1980). Como parte do presente trabalho, esses dados foram submetidos a uma análise de depuração para garantir confiabilidade. Em total, são 11.323 valores de observações pluviométricas (um valor por dia) para o intervalo entre janeiro de 1970 e dezembro de 2000. Os dados inexistentes são apenas 16. O erro máximo das

medições de chuvas é de ± 1 mm.

Contar com um conjunto de dados de mais de três décadas correspondente a um sítio isolado da Amazônia ocidental é uma rara possibilidade, que permite fazer um estudo temporal da série de observações pluviométricas. O objeto do estudo é um processo natural no qual estão presentes padrões de uma recorrência que se mostra a intervalos regulares (estações do ano: seca e chuvas), mas não com valores idênticos, daí as variações interanuais e outras de mais longo prazo inerentes ao processo. Essas características correspondem a uma série temporal não-estacionária de eventos de chuvas por dia ao longo de três décadas.

A análise da série temporal consistiu na visualização da distribuição de chuvas, bem como na identificação das informações relacionadas com seu comportamento recorrente. Uma primeira visualização relacionando o total de chuvas por dias mostrou a existência de uma tendência consistente em um aumento das precipitações durante duas décadas (de 1970 a 1990), seguido de uma fase de diminuição, por mais de uma década (desde 1990). Desta maneira a análise da série temporal não-estacionária centrou-se na identificação da tendência presente na distribuição das chuvas e sua interpretação como um sinal ou efeito que o concomitante desmatamento na Amazônia pode estar ocasionando no clima local.

Foi ajustado um modelo de série temporal ARIMA¹ ao conjunto de dados. O modelo geral vem dado pela expressão (1):

$$(1-B)^d \phi(B)X_t = \theta(B)Z_t \quad (1)$$

onde: d é um inteiro não-negativo; as funções $\phi(B)$ e $\theta(B)$ são polinômios de graus p e q , respectivamente; B é um operador numérico; X_t e Z_t são os valores de chuvas para o tempo t , sendo que X corresponde ao processo de auto-regressão, enquanto Z à média móbil.

Os parâmetros de ajuste usados, $p = q = 0$ e $d = 1$, conformaram o modelo ARIMA(0,1,0), cuja derivada temporal permitiu obter a série estacionária, que contém as informações sobre variabilidade sazonal, interanual e outras de mais longo prazo.

Por outro lado, a tendência das chuvas para o período se estimou mediante regressão polinomial quadrática, obtendo-se a seguinte expressão, (2):

$$\text{Chuvas (mm/d)} = 4,471 + 0,0003044761 t - 2,11221 \cdot 10^{-8} t^2 \quad (2)$$

onde: o tempo t se estende entre 1970 e 2000 (em dias, entre 1 e 11.323); o arredondamento na expressão se realiza após a substituição dos valores de t .

3. CHUVAS E DESMATAMENTOS

A série temporal não-estacionária se apresenta na Figura 1, representando os valores medidos das chuvas, em

¹ Autoregressive integrated moving average process

Rio Branco, para cada dia entre 1970 e 2000. (A indicação dos anos na abscissa nas Figuras 1, 2 e 3 só significa o período ao qual se relacionam os dias).

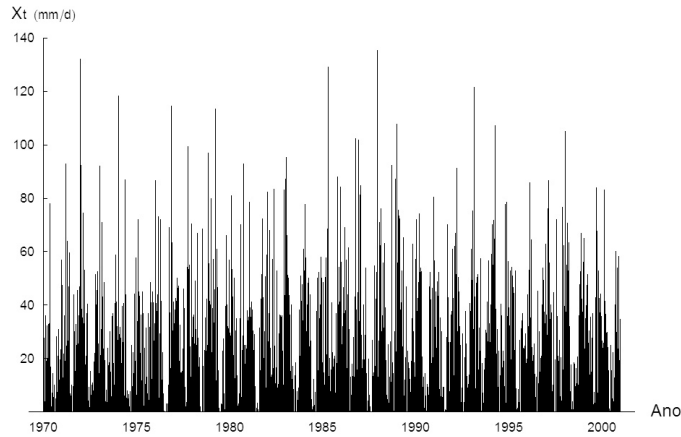


Figura 1: Série temporal das chuvas diárias em Rio Branco entre

Os dados do gráfico da Figura 1 foram registrados ao mesmo tempo em que iam sendo desflorestados na Amazônia de 15.000 a 25.000 km² por ano, desde o início da década dos anos setenta. Essa taxa de desflorestamento fez com que se acumulassem mais de 600.000 km² de áreas desmatadas na Amazônia, o qual, de diferentes formas, está alterando o ecossistema. O chamado arco de desflorestamento chega à parte leste do Estado do Acre e afeta notavelmente Estados situados mais ao leste como os de Rondônia, Mato Grosso e Pará.

Na Figura 2 se apresenta a série temporal estacionária correspondente aos dados de chuvas visualizados na Figura 1. A seqüência de zonas escuras e claras indica a sucessão de períodos de chuvas e seca, mostrando as variações sazonais das precipitações; a aparência desigual de cada tipo de zona entre si obedece às variações interanuais. Outras variações tanto de menor, quanto de mais longo prazo são difíceis de observar diretamente na figura.

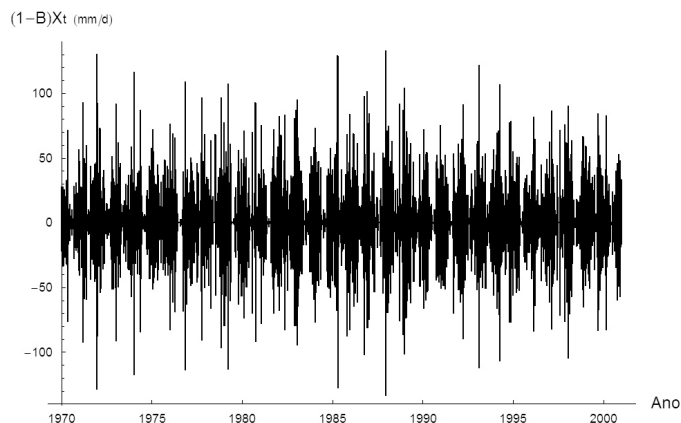


Figura 2: Parte estacionária da série temporal.

A Figura 3, a seguir, corresponde à curva de tendência das chuvas para o período considerado.

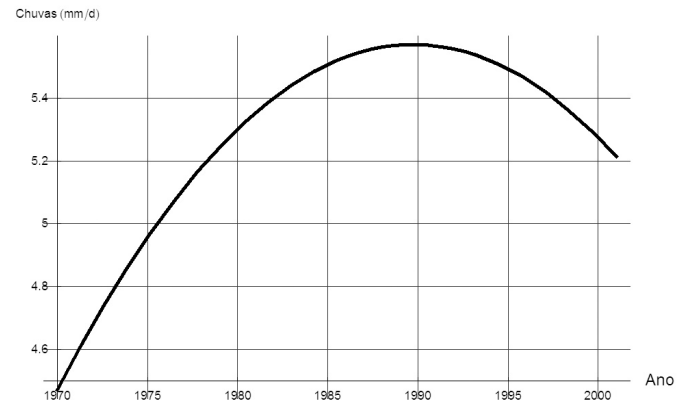


Figura 3: Curva de tendência das chuvas em Rio Branco, para o período 1970 - 2000.

Como foi dito anteriormente, a tendência exibe uma ascensão e uma posterior diminuição, expressando que: enquanto para 1970 a média diária das chuvas estava em torno de 4,5 mm/dia, para finais da década dos anos oitenta e início dos anos noventa esse valor alcançava um máximo próximo a 5,6 mm/dia; seguidamente as chuvas diminuíram: para o ano 2000 a média diária foi de 5,2 mm/dia.

Constata-se que continua a fase decrescente no ano 2001, para o qual a altura das chuvas foi de 1900 mm; no 2002, de 1910 mm; e no 2003, de 1804 mm: em torno de 5,0 mm/dia.

Com relação a essa tendência várias perguntas podem ser formuladas: (i) por quê inicialmente, na década dos anos setenta, os valores de chuvas eram ainda menores que em 2003?, (ii) o quê fez com que as chuvas aumentassem entre 1970 e 1990? e, finalmente, o quê está influenciando para a diminuição das chuvas desde 1990?.

Na Figura 4, observam-se as áreas de intenso desmatamento e queimas de biomassa, que consolidam uma nova fisionomia na Amazônia. Essas áreas avançam a cada ano, há três décadas, como exemplificado para os anos 2002 - 2003.

As perguntas acima formuladas são de difícil resposta considerando tratar-se de um sistema mutante. Os próprios modelos de circulação global não podem prever quaisquer variações sem grandes incertezas. Mas, se sabe que acentuadas mudanças no uso do solo, como as acontecidas na Amazônia e referidas no presente trabalho, afetam a maneira como se realiza o ciclo hidrológico no ecossistema; nas áreas desmatadas a umidade não se evapora à atmosfera nem fica retida, como normalmente acontece, na presença da vegetação; com isso se afetam as precipitações (Laurence, 1998), cuja redução pode ser de 20 % e mais. Neste contexto Schneider (1994), avalia que o papel controlador das florestas sobre o clima regional e global quanto ao balanço hídrico, evaporação, formação de nuvens, temperatura e re-emissão de radiação em forma de

calor, se afeta consideravelmente com o desflorestamento, e em termos relativos, influencia até duas ordens de grandeza mais do que o acúmulo de CO₂ na atmosfera. A partir daí a hipótese da relação entre a tendência das chuvas regionais (em Rio Branco) e o desflorestamento concomitante (na Amazônia) parece provável.

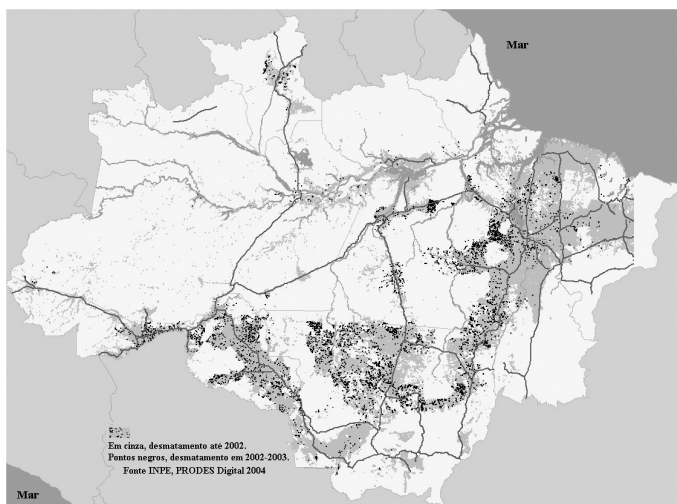


Figura 4: Desmatamento na Amazônia até 2003.

4. CONCLUSÃO

As complexas ligações entre biosfera e atmosfera não permitem afirmar que o comportamento observado na variabilidade das chuvas num sítio da Amazônia ocidental, Rio Branco, seja devido ao concomitante desmatamento. Mas por outro lado, embora outras hipóteses possam coexistir, é provável que alguma alteração regional ou localizada, no regime das chuvas na parte ocidental da Amazônia, possa estar acontecendo há décadas como resposta ao desflorestamento na parte central e oriental da Amazônia. Em Rio Branco, durante a conversão inicial de floresta em pastagem, aconteceu um aumento das precipitações de 4,5 mm/dia para 5,6 mm/dia. Entre 1990 e 2003 houve redução da altura das chuvas para 5,0 mm/dia. Isto representa aproximadamente 400 mm de diferença, quase duas vezes o valor do desvio padrão da distribuição anual das chuvas, calculado em 228 mm. É interessante notar que para o caso dado o comportamento obedece a uma linha de tendência, extraída de uma série temporal apropriada para estudos climatológicos. A análise de dados pluviométricos monitorados *in situ*, em outros pontos da Amazônia, poderia complementar este estudo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREAE, M. O.; ROSENFELD, D.; ARTAXO, P.; COSTA, A. A.; FRANK, G. P.; LONGO, K. M.; SILVA-DIAS, M. A. F. Smoking Rain Clouds over the Amazon. *Science*, v.303, n.27, p.1337-1342, 2004.

ARTAXO, P. O balanço de radiação atmosférica sobre a Amazônia e seus efeitos no ecossistema. Artigo publicado no livro em Homenagem ao Prof. Iuda David Goldman vel Lejbman, USP, São Paulo, Abril de 2002.

ARTAXO, P.; SILVA-DIAS, M. A. F.; ANDREAE, M. O. O Mecanismo da Floresta para fazer chover. *Scientific American Brasil*, n.11, p.39-45, 2003.

FISCH, G., MARENGO, J.A., NOBRE, C.A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônica*. v. 28, n.2, p.101-126, 1998.

FERREIRA, N.J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS M.A.F. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em períodos de El Niño e La Niña. *Revista Brasileira de Meteorologia*. v.19, n.1, p.73-88, 2004.

GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; ROBERTS, J.M.; VICTORIA, R.L. (Editores). *Amazonian deforestation and climate*. Published by John Wiley & Sons, Chichester, 611pp. 1996.

GASH, J.H.C.; HUNTINGFORD, C.; MARENGO, J. A.; BETTS, R. A.; COX P. M.; FISCH, G.; FU, R.; GANDU, A.W.; HARRIS, P. P.; MACHADO, L. A. T.; VON RANDOW, C.; SILVA DIAS, M. A. Amazonian climate: results and future research. *Theor. Appl. Climatol.* doi:10.1007/s00704-004-0052-9, 2004.

KOREN, I.; KAUFMAN, Y.J.; LORRAINE A.R.; MARTINS, J.V. Measurement of the Effect of Amazon Smoke on Inhibition of Cloud Formation. *Science*, v.303, n.27, p.1342-1345, 2004.

HANS-F. G. The Complex Interaction of Aerosols and Clouds. *Science*, v. 303, n. 27, p.1309-1311, 2004.

HERDIES, D.L.; da SILVA A.; SILVA DIAS M.A.F.; NIETO F.R. Moisture budget of the bimodal pattern of the Summer circulation over South America. *J. of Geophysical Research*. Vol.107, No. D20, 8075, doi:10.1029/2001JD000997, LBA 42-1 – 42-10, 2002.

LAURANCE, W.F. A crisis in the making: responses of Amazonian forests to land use and climate change. *Trends in Ecology and Evolution*, v.13, p.411-415, 1998.

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, p.1-18, 2001.

MARENGO, J.A. Interdecadal variability and trends of rainfall across the Amazon basin. *Theor. Appl. Climatol.* doi 10.1007/s00704-004-0045-8, 2004.

MOLION, L.C.B. Intervenção oral durante o **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**. Foz do Iguaçu, 2002.

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

SILVA DIAS, M. A. F.; RUTLEDGE, S.; KABAT, P.; SILVA DIAS, P.L.; NOBRE, C.; FISCH, G.; DOLMAN, A.J; ZIPSER, E.; GARSTANG, M.; MANZI, A. O.; FUENTES, J. D.; ROCHA, H. R.; MARENGO, J.; PLANA-FATTORI, A.; SA', L. D. A.; ALVALA', R .C. S.; ANDREAE, M.O.; ARTAXO, P.; GIELOW, R.; GATTI, L. Cloud and rain processes in a biosphere-atmosphere interaction context in the Amazon Region. **J. Geophys. Res.** v.107, n. D20, 8072, doi: 10.1029/2001JD000335, 2002.

SCHNEIDER, E.D; KAY, J.J. Complexity and Thermodynamics: Towards a New Ecology. **Futures**, v.24, n.6, p.626-647, 1994.

WERTH, D.; AVISSAR, R. The local and global effects of Amazon deforestation. **J. of Geophysical Research**. v.107, n. D20, 8087, doi:10.1029/2001JD000717, 2002.