

**FLUTUAÇÕES CLIMÁTICAS NA BACIA AMAZÔNICA NOS ÚLTIMOS 100 ANOS.  
RELACIONAMENTO COM O CLIMA GLOBAL**

J. Mortatti<sup>1</sup>, A. Ribeiro<sup>1</sup>, R.L. Victória<sup>2</sup>, J.-L. Probst<sup>3</sup>, Y. Tardy<sup>4</sup>

1. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil
2. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, Brasil
3. Centre de Géochimie de la Surface, CNRS, Strasbourg, França
4. ORSTOM, Paris, França e Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil

Recebido em: 06/93. Aprovado para publicação em: 09/94

## ABSTRACT

World climate has been changing during the last century. The global stream water discharge, the precipitation over the continents, the global air temperature and the CO<sub>2</sub> contents in the atmosphere have been increasing together. However, on the Amazon Basin, the examination of existing data and the estimation of missing data are allowing us to show that in this same period, the air temperature has been decreasing, the precipitation and river discharge have been increasing showing very large fluctuations. It is shown that the evolution of the global climate, over continents, becoming warmer and wetter should not mask the following realities: 1- the amplitudes of fluctuations are large; 2- the regional trends not occur necessarily in the same directions; 3- the global and regional fluctuations, even if of similar amplitude and of equal periodicity, are not synchronous.

## RESUMO

O clima do mundo tem, neste último século, sofrido alterações. A precipitação sobre os continentes, a vazão global dos rios, a temperatura global e o teor de CO<sub>2</sub> da atmosfera têm aumentado simultaneamente. Entretanto, para a Bacia Amazônica, a análise dos dados hidrometeorológicos existentes e a estimativa dos dados ausentes permitem mostrar que, no curso do último século, a temperatura diminuiu, a precipitação e a vazão aumentaram, mostrando porém grandes flutuações. Verifica-se que, de um modo geral, o clima global, sobre os continentes, tornou-se mais quente e mais úmido, sendo, entretanto, necessário mencionar as seguintes observações: 1- as amplitudes das flutuações são grandes; 2- as tendências regionais não ocorrem necessariamente no mesmo sentido das tendências globais; 3- as flutuações regionais e globais, de amplitudes similares e igual periodicidades, não se apresentam sincronizadas.

## INTRODUÇÃO

Neste século, algumas alterações climáticas tem sido observadas. O teor de CO<sub>2</sub> na atmosfera apresenta uma tendência de aumento significativo, o globo terrestre - oceanos e continentes reunidos - se aquece e o escoamento continental global vem aumentando (Probst & Tardy, 1987, 1989; Tardy & Probst, 1992a, 1992b). Para as diversas escalas do tempo, geológica, pré-histórica ou histórica, desde o Cretáceo (100 Ma), durante o Terciário (50 Ma) ou Quaternário (2 Ma), inclusive nos períodos de glaciação ou episódios interglaciais (100 Ka), até o presente século (100 anos), o cenário das oscilações climáticas tem sido mais ou menos o mesmo: as épocas quentes são freqüentemente úmidas e o teor de CO<sub>2</sub> na atmosfera é mais elevado; os episódios frios são, ao contrário, secos, e o teor de CO<sub>2</sub> na atmosfera apresenta-se mais baixo (Lorius et al., 1979; Neftel et al., 1982; Berner et al., 1983; Shackleton & Pisias, 1985; Tardy, 1986; Barnola et al., 1987; Petit-Maire, 1992).

O clima global, isto é, o clima do glo-

bo terrestre como um todo, flutua esquematicamente segundo dois modos principais: um, dito normal, mais freqüente, onde se alternam episódios quentes e úmidos com períodos frios e secos, e outro, chamado anormal, menos freqüente, onde são alternados os episódios quentes e secos e os períodos frios e úmidos (Tardy, 1986).

A elevação conjunta da temperatura global e o aumento do escoamento continental são considerados, por muitos, como uma tendência do clima global atual, produzida segundo o modelo normal. O aumento do teor de gás carbônico na atmosfera é geralmente visto como a causa dessas evoluções conjuntas e bem marcadas na escala deste século (Houghton et al., 1990; Folland et al., 1990). Entretanto, se tal tendência existe, ela é ocultada por importantes flutuações temporais e por grandes variações no espaço, caracterizadas por variações de umidade e de temperatura que ocorrem tanto sobre o conjunto dos continentes, como sobre a Bacia Amazônica, na América do Sul.

## FLUTUAÇÕES DO CLIMA GLOBAL NOS ÚLTIMOS 100 ANOS

As variações do teor de CO<sub>2</sub> da atmosfera (Keeling et al., 1982), da temperatura global (Jones et al., 1986) e do escoamento continental global, somatória das vazões de todos os rios do mundo (Probst & Tardy, 1987), podem ser observados na Figura 1 (Probst & Tardy, 1989). A tendência secular dos principais parâmetros climáticos (precipitação e temperatura) ocorre segundo o modelo normal. Entretanto, em termos de tendência, se escoamento continental global e temperatura global aumentam juntos, as flutuações da ordem de 30%, em torno das curvas médias, são importantes. Dessa forma, torna-se interessante observar que, nos últimos 100 anos, cerca de 3/4 foram oscilações produzidas de acordo com o modo normal (anos quentes e úmidos ou anos frios e secos), ao passo que apenas 1/4 foi devido às oscilações que acompanham o modelo anormal (anos quentes e secos ou anos frios e úmidos) (Probst & Tardy, 1989).

De acordo com Kayser et al. (1990), durante o último século, as flutuações das vazões dos grandes rios apresentaram-se de forma policíclica e quase periódicas, sendo os períodos secos e úmidos propagados como ondas teleconectadas pelo mundo inteiro.

Os numerosos cenários que tentaram prever o clima da Terra, caso o teor de CO<sub>2</sub> na atmosfera duplicasse, prognosticaram, em sua totalidade, que um aumento da temperatura global de 2 a 5 °C, acompanharia um aumento de cerca de 20% na precipitação global (Mitchell et al., 1990).

Os resultados apresentados aqui, mostram que, para um aumento do teor de CO<sub>2</sub> de 300 ppmV em 100 anos (100% em relação à concentração atual de 300 ppmV), corresponderia um aumento na temperatura de 0,5 °C, e para o escoamento global, cerca de  $0,016 \times 10^{20}$  cm<sup>3</sup>/a. Se as elevações da temperatura global e do escoamento continental global acompanham, como se crê, um aumento do teor de CO<sub>2</sub> na atmosfera, os resultados observados na Figura 1, sugerem que, para um acréscimo de 100% na concentração de CO<sub>2</sub> em 100 anos, teríamos um aumento de somente 4%, tanto para a temperatura média global (de 15 para 16 °C), como para o escoamento continental global ( $0,40$  a  $0,42 \times 10^{20}$  cm<sup>3</sup>/a). Os valores de 4% observados, en-

contram-se dentre os mais baixos previstos pelos principais modelos (Mitchell et al., 1990).

## FLUTUAÇÕES DA VAZÃO DO RIO AMAZONAS

A Bacia Amazônica está centralizada na zona de domínio equatorial. Para a estação de amostragem em Obidos, última seção reta do rio antes da foz, a superfície é de 4.619.000 km<sup>2</sup> (DNAEE, 1987). A precipitação média anual varia entre 1500 e 3000 mm/a, de acordo com as localidades, sendo difícil estimá-la para a bacia total. Tal valor, varia de acordo com a literatura, entre 2000 mm/a (Salati & Marques, 1984) e 2200 mm/a (Mortatti et al., 1985). Dados históricos da estação hidrometeorológica de Manaus, situada no centro da bacia de drenagem, mostram que a referida estação recebeu, nos últimos 100 anos, uma quantidade média de água, próxima aos valores estimados. A média da precipitação total anual entre 1911 e 1985 foi de 2110 mm/a, enquanto a temperatura média anual foi de 26,7 °C. Durante esse período, como pode ser observado na Figura 2, a temperatura diminuiu, mas a precipitação aumentou (Ribeiro, 1991).

As vazões do rio Amazonas, na estação de Obidos, foram medidas entre 1928 e 1948, sem interrupção, o mesmo ocorrendo a partir de 1969. Não existem medidas disponíveis desde o início do século até 1928, e entre 1949 e 1969. Até o momento, dispõe-se apenas de dois tipos de estimativas para as vazões do Amazonas, ao longo de um período de 74 anos entre 1911 e 1985. A primeira, de Probst & Tardy (1987, 1989), é baseada em correlações entre vazões medidas em Obidos e uma estimativa da precipitação média da Bacia Amazônica, ponderadas com os resultados das precipitações obtidas em sete estações distribuídas pela bacia de drenagem ( $Q = 80,674 * P$ ). Mostrou-se, também, que a vazão do rio Amazonas flutuou bastante no decorrer deste século, além de ter aumentado significativamente. A outra estimativa existente (Richey et al., 1989) considera as vazões do rio Solimões na estação de Manacapuru (estação a montante das confluências dos rios Negro e Madeira e, consequentemente, da estação Obidos) e seu relacionamento com os valores das cotas do rio Negro, nos períodos de ausência de dados. Os resultados obtidos são diferentes e mostram que,

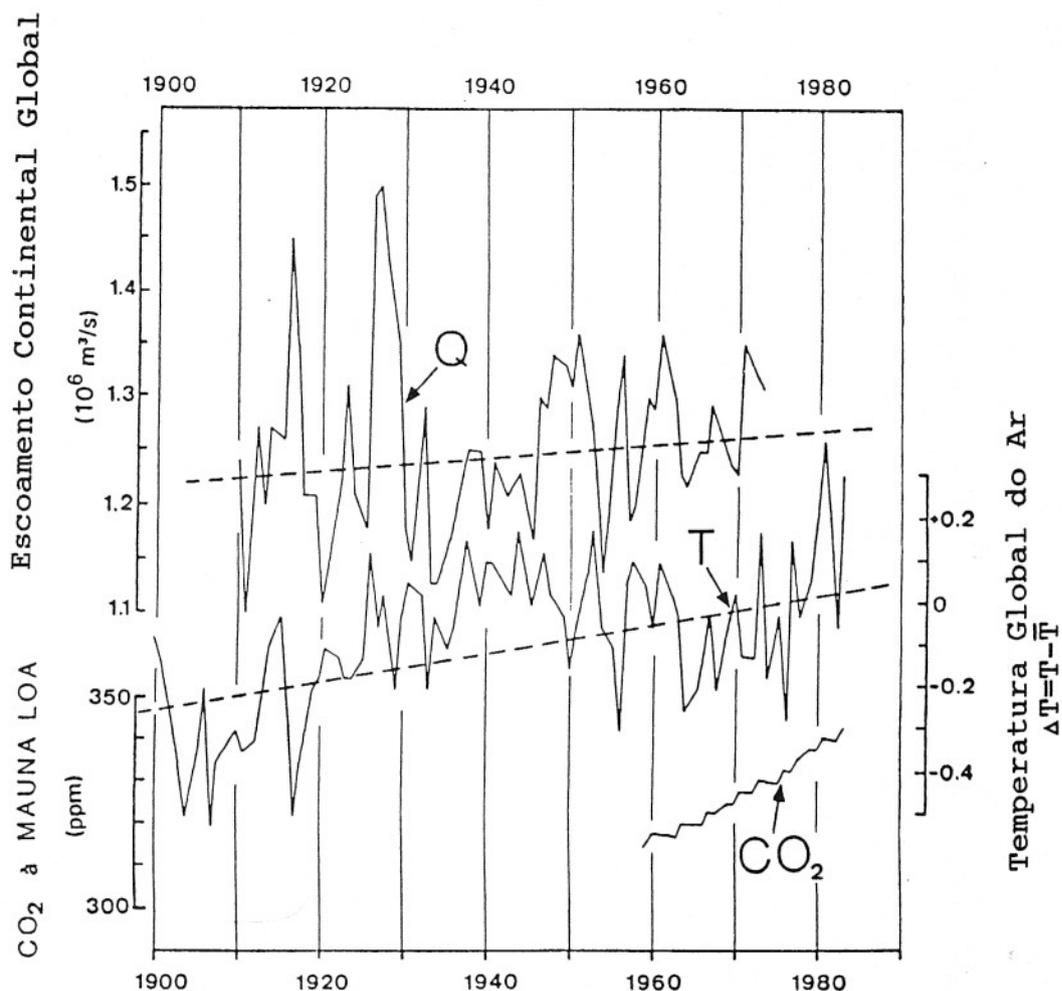


Figura 1 – Flutuação secular do escoamento continental global (Q) temperatura média global do ar na superfície (T) e concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera (extraído de Probst & Tardy, 1989).

apesar de importantes flutuações, a variação da vazão parece ser constante no tempo, sem aumento significativo quando comparado com a primeira estimativa.

A principal diferença entre as estimativas está relacionada com o posicionamento a montante da estação de Manacapuru, não suficiente para refletir as nuances climáticas na totalidade da bacia de drenagem, tudo isso aliado ao fato de que os dois maiores tributários do rio Amazonas, Negro e Madeira, confluem com o mesmo a jusante de Manacapuru, ao passo que a estação de Obidos, utilizada na primeira estimativa está situada próximo à foz.

Uma tendência crescente na série de vazões do rio Amazonas foi também observada por Rocha et al. (1989), quando da observação dos dados no período de 1960-1970. Pode ser verificado que o aumento da vazão estava relacionado com o aumento

da precipitação na área de recarga, tratando-se dessa forma de uma simples flutuação, sendo esta interrompida, a partir de 1975, na estação de Manacapuru. Uma terceira estimativa, proposta no presente trabalho, foi obtida a partir dos dados mensais de precipitação para a estação de Manaus, e de vazão em Obidos.

### NOVA ESTIMATIVA DAS OSCILAÇÕES SECULARES DA VAZÃO DO RIO AMAZONAS

Para um conjunto de 408 dados mensais, distribuídos durante um período de 34 anos, foram estabelecidas as relações existentes entre a precipitação verificada em Manaus e a vazão do rio Amazonas em Obidos. A melhor correlação foi obtida quando adotou-se uma defasagem de três meses entre tais parâmetros, correspon-

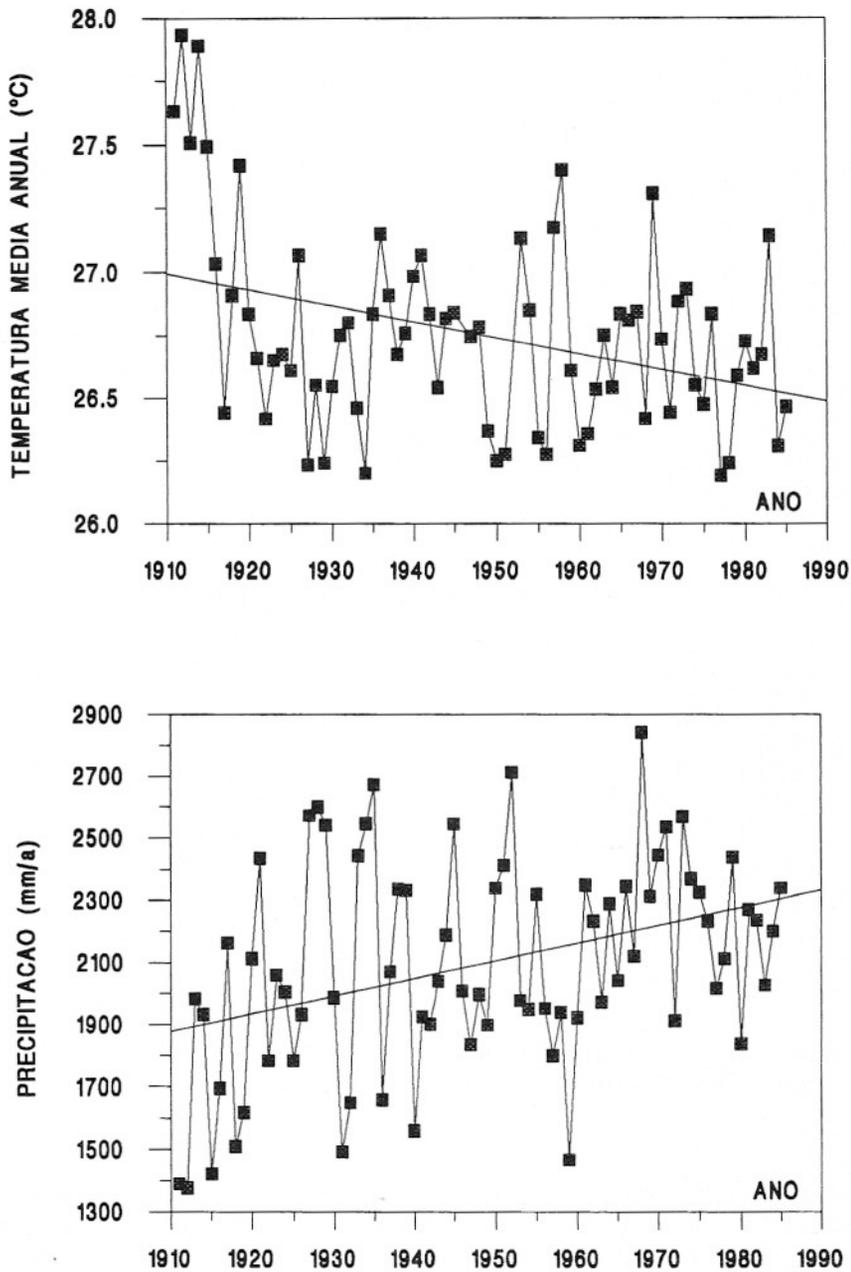


Figura 2 - Temperatura média anual e precipitação total anual para a estação de Manaus, período 1911-1985 (extraído de Ribeiro, 1991).

dente à duração média do escoamento da água da chuva entre o centro da bacia de drenagem (Manaus) e a foz (Obidos). O coeficiente de correlação passa a ser superior quando os dados brutos são substituídos pela média móvel da precipitação mensal sobre três meses, embora ambas as correlações sejam significativas a 1% (Fig. 3).

Dessa forma, foram estimados os dados ausentes da vazão do rio Amazonas, para a estação de Obidos, entre 1911 e 1928, bem como entre 1949 a 1969, e con-

sideradas as flutuações para um período global entre 1911 e 1985. Os dados brutos e as médias móveis da vazão anual, mostraram ambos a mesma tendência de aumento, a despeito da grande variabilidade dos dados. O coeficiente de correlação obtido entre as variáveis foi de 0,671 e, após teste F, a correlação mostrou-se significativa a 1% (Fig. 4).

As oscilações da vazão do rio Amazonas e as oscilações do escoamento continental global são grandes. A vazão média

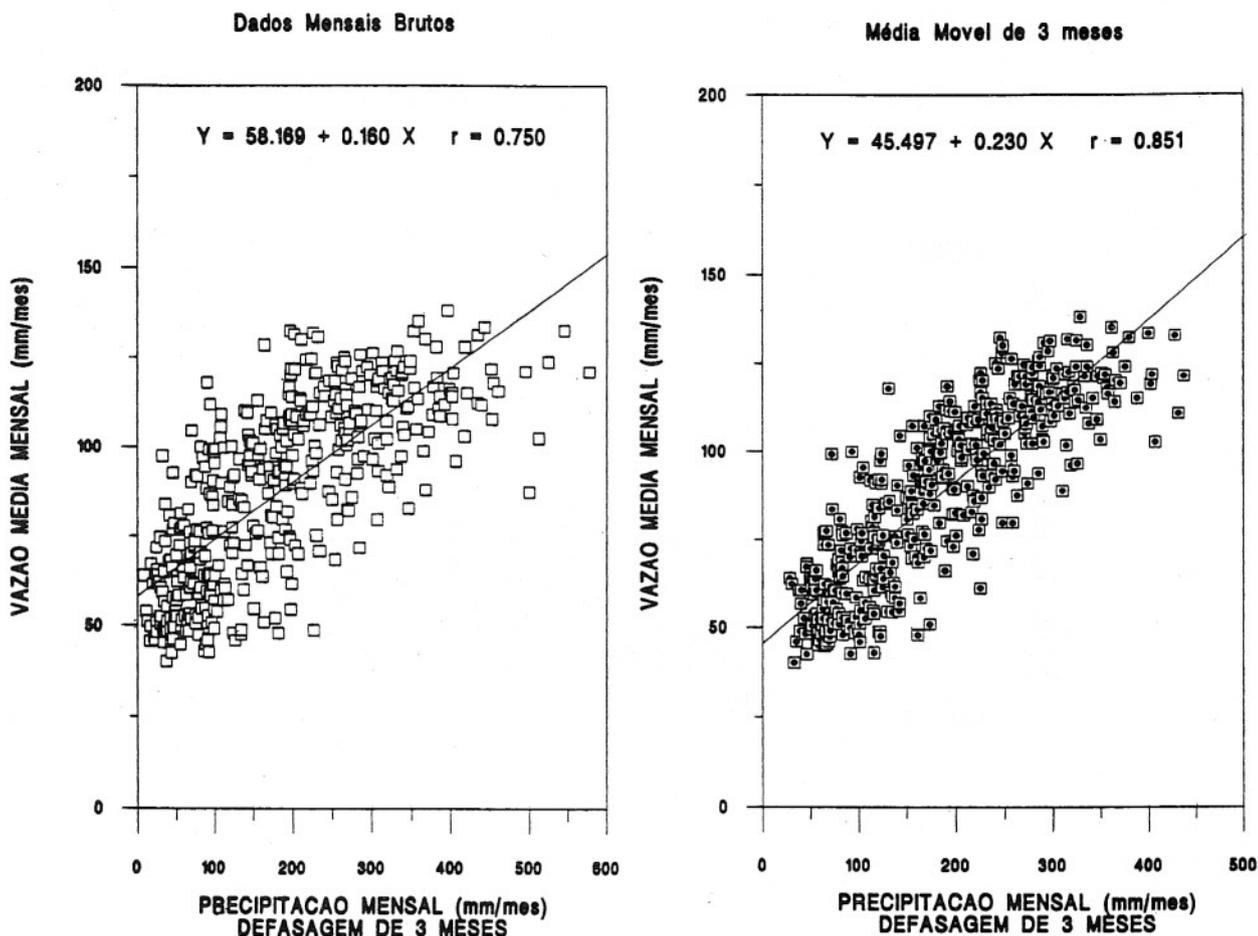


Figura 3 - Correlações entre as vazões mensais (Obidos) e as precipitações mensais (Manaus) defasadas de três meses. Dados brutos e média móvel de três meses.

anual do rio Amazonas varia entre  $125 \times 10^3$  e  $175 \times 10^3$  m<sup>3</sup>/s. O valor médio anual do escoamento continental global varia entre  $110 \times 10^4$  e  $150 \times 10^4$  m<sup>3</sup>/s. As flutuações se apresentam da mesma ordem de grandeza (30%).

A vazão do maior rio do mundo, em volume d'água (12% do escoamento total), aumenta da mesma forma que o escoamento continental global, ao passo que, a temperatura, no centro dessa grande região, apresenta uma tendência de diminuição enquanto a temperatura global aumenta. Tal consideração somente é válida para o presente século e, particularmente, entre o período estudado de 1911 a 1985, não sendo qualquer tendência extrapolável.

Nos últimos 100 anos, numa escala global, a temperatura e a vazão dos rios aumentaram da mesma forma. Numa escala regional, esses dois parâmetros essenciais do clima aumentaram em conjunto em al-

gumas regiões, ao passo que em outras, tiveram tendências opostas. Isso é evidenciado pelo fato das flutuações climáticas, como precipitação e vazão, mesmo quando com igual periodicidades, não se apresentarem em sincronismo. O estudo das defasagens obtidas entre as diferentes flutuações fornecerá subsídios para uma melhor compreensão dos mecanismos de propagação das ondas de seca e umidade através do globo terrestre.

## CONCLUSÃO

As flutuações da temperatura, tanto na superfície dos continentes, como nos oceanos, apresentam-se, de certa forma, compensadas. Por exemplo, o aumento da temperatura global na superfície da Terra poderia ser compensado por uma diminuição da temperatura global na estratosfera. Um efeito de compensação é igualmente regis-

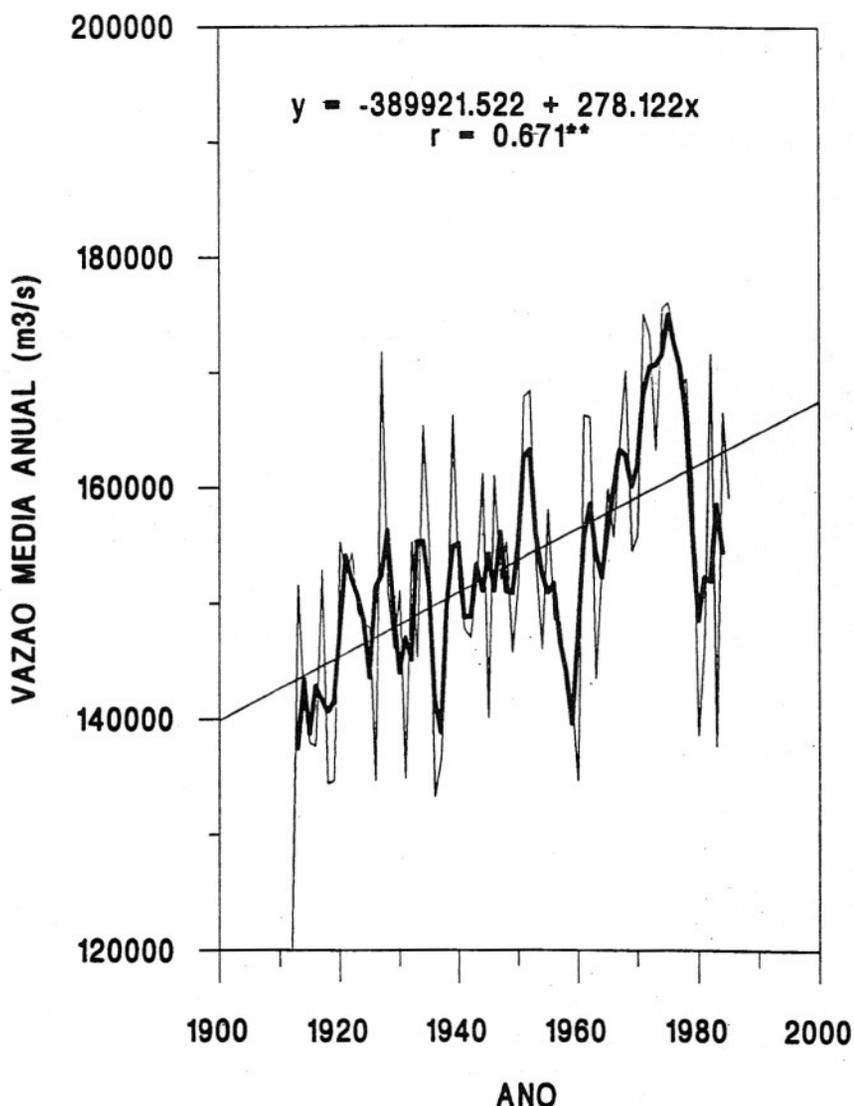


Figura 4 - Variação da vazão média anual em função do tempo. Dados brutos e média móvel de três anos.

trado em uma escala regional. No decorrer da primeira metade do presente século, por exemplo, a temperatura aumentou sobre a Costa Oeste dos Estados Unidos e diminuiu na Costa Leste. Durante a segunda metade, ocorreu o contrário. Ela aumentou sobre a Costa Leste e diminuiu sobre a Costa Oeste (Bucha, 1984; Tardy & Probst, 1992b).

O aumento da vazão global está relacionado com o escoamento continental e depende da precipitação sobre os continentes. Esta aumentou nos últimos 100 anos, mas não argumentou-se que esse aumento é compensado por uma diminuição sobre o conjunto de oceanos, onde a quantidade de dados é escassa. O efeito da compensação pluviométrica existe também

sobre os continentes. Dessa forma, a precipitação na Europa e na Ásia teria sido mais forte durante a primeira metade do século e mais fraca durante a segunda metade. Por outro lado, sobre a África, América do Norte e América do Sul, o contrário é observado. A precipitação foi de menor intensidade durante a primeira metade do século e mais forte na segunda metade.

Na superfície da Terra, a precipitação e a temperatura flutuam nas várias escalas de tempo e de espaço. É preciso não confundir o ramo ascendente ou descendente de uma oscilação, com uma tendência do clima global. É preciso, ainda, não confundir as oscilações do clima de uma região com aquelas do clima de outra região ou

com aquelas do clima global. Se o ritmo das flutuações é o mesmo, somente é alterada a distribuição no tempo e no espaço. Tudo se passa como se, numa primeira análise, a energia total que anima o ciclo global da água fosse constante no tempo e somente a distribuição dos fatores do clima variasse no espaço. Os fenômenos de compensação térmica e pluviométrica parecem ser dominantes.

Entretanto, se, no estágio atual das nossas pesquisas, o aumento conjunto da

vazão do rio Amazonas e da vazão continental global parece ser ao acaso, nenhum deles pode ser considerado como indicador do outro, pois eles são independentes, embora tenham uma grande significação dentro do domínio ambiental.

Com relação à Amazônia, devemos constatar que o aumento do escoamento e o aumento da erosão, na escala da bacia de drenagem, começaram bem antes do início do desmatamento na região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARNOLA, J.M.; RAYNAUD, D.; KOROTKEVITCH, Y.S.; LORIUS, C. (1987) Vostok ice core: a 160,000 years records of atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature*, **329**: 408-414.
- BERNER, R.A.; LASAGA, A.C.; GARRELS, R.M. (1983) The carbonate silicate geochemical cycle and its effect on atmospheric carbon dioxide over the past 100 million years. *Amer. J. Sci.*, **283**: 641-683.
- BUCHA, V. (1984) Mechanisms for linking solar activity to weather scale effects, climatic change and glaciation in the northern hemisphere. In: Morner, N.A. & Karlen, W. (Eds.), *Climatic on a Yearly to a Millennial Basis*, D. Reidel Publ. Co., 637-651.
- DNAEE (1987) Inventário das estações fluviométricas. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Ministério das Minas e Energia, Brasília, DF.
- FOLLAND, C.K.; KARL, T.R.; VINNIKOF, K.Y. (1990) Observed climate variations and change. In: Houghton, J.T. et al. (Eds.), *Climate Change*, Cambridge University Press, 195-238.
- HOUGHTON, J.T.; JENKINS, G.J.; EPHRAUMS, J.J. (1990) *Climate Change*. Cambridge University Press, 365p.
- JONES, P.D.; WIGLEY, T.M.L.; WRIGHT, P.B. (1986) Global temperature variations between 1861 and 1984. *Nature*, **322**: 430-434.
- KAYSER, N.; PROBST, J.L.; CADET, D.; TARDY, Y. (1990) Propagation des ondes de sécheresse et d'humidité à travers le monde. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 310, série II, 757-763.
- KEELING, C.D.; BACASTOW, R.B.; WHORF, T.P. (1982) In: Clark, W.C. (Ed.) *Carbon Dioxide Review*, Oxford University Press, 377-385.
- LORIUS, C.; MERLIVAT, L.; JOUZEL, J.; POURCHET, A. (1979) A 30,000 years isotope climatic record from Antarctic ice. *Nature*, **280**: 644-648.
- MITCHELL, J.F.B.; MANABE, S.; MELESHKO, V.; TORIOKA, T. (1990) Equilibrium climate change and its implications for the future. In: Houghton, J.T. et al. (Eds.), *Climate Change*, Cambridge University Press, 131-172.
- MORTATTI, J.; SALATI, E.; VICTÓRIA, R.L.; RIBEIRO, M.N.G. (1985) Analysis of the isotopic behavior of hydrogen and oxygen of water in the main channel of the river Solimões/Amazon. In: Degens, E.T. (Ed.), *Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers*. Parte 23, SCOPE/UNEP, Hamburg, Heft 58: 259-266.
- NEFTEL, A.; OESCHGER, H.; SCHWANDER, J.; STAUFFER, B.; ZUMBRUNN, R. (1982) Ice core measurements give atmospheric CO<sub>2</sub> content during the past 40,000 years. *Nature*, **295**: 222-223.
- PETIT-MAIRE, N. (1992) Sur l'avenir dans les archives géologiques. *La Recherche*, Paris, **243**: 566-569.
- PROBST, J.-L. & TARDY, Y. (1987) Long range streamflow and world continental runoff fluctuations since the beginning of this century. *J. Hydrol.*, **94**: 289-311.
- PROBST, J.-L. & TARDY, Y. (1989) Global runoff fluctuations during the last 80 years in relation to world temperature change. *Amer. J. Sci.*, **289**: 267-285.
- RIBEIRO, A. (1991) Análise das variações climáticas observadas na região de Manaus (AM). Dissertação de Mestrado em Agronomia, ESALQ/USP, Piracicaba, 113p.
- RICHEY, J.E.; NOBRE, C.; DESSER, C. (1989) Amazon river discharge and climate variability: 1903 to 1985. *Science*, **246**: 101-103.
- ROCHA, H.R.; NOBRE, C.A.; BARROS, C.B. (1989) Variabilidade natural de longo prazo no ciclo hidrológico da Amazônia. *Climanálise*, São José dos Campos, **4**(12): 36-42.
- SALATI, E. & MARQUES, J. (1984) Climatology of the Amazon region. In: Sioli, H.

- (Ed.), *The Amazon, Limnology and Landscape Ecology of a Might Tropical River and its Basin*. W. Junk Publ., Dordrecht, 85-126.
- SHACKLETON, N.J. & PISIAS, N.G. (1985) Atmospheric carbon dioxide, orbital forcing and climate. In: Sundquist, E.T. & Broecker, W.S. (Eds.), *The Carbon Cycle and Atmospheric CO<sub>2</sub> Natural variations*. Geophysical Monograph, 32.
- TARDY, Y. (1986) Le cycle de l'eau. *Climats, Paléoclimats et Géochimie Globale*. Ed. Masson, Paris, 338p.
- TARDY, Y. & PROBST, J.-L. (1992a) Sécheresse, crises climatiques et oscillations téléconnectées du climat depuis cent ans. *Science et Changements Planétaires*. *Sécheresse* 1, 3: 26-26.
- TARDY, Y. & PROBST, J.-L. (1992b) Sécheresse et crises climatiques. *Encyclopedia Universalis, Universalis*, 92: 167-174.