

# CONTRIBUÇÕES REPRODUZIDAS NA ÍNTEGRA

## VARIABILIDADE NATURAL DE LONGO PRAZO NO CICLO HIDROLÓGICO DA AMAZÔNIA

Humberto Ribeiro da Rocha <sup>(1)</sup>  
Carlos Afonso Nobre <sup>(1)</sup>  
Marcos Costa Barros <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE - São José dos Campos

<sup>(2)</sup>Divisão de Controle de Recursos Hídricos - DCRH  
Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - DNAEE - Brasília - DF

### RESUMO

A retirada das florestas tropicais nativas da Amazônia pode causar alterações no ciclo hidrológico, observáveis em variações do regime de chuvas e vazões dos rios que compõem a bacia amazônica. Neste trabalho, procedeu-se a uma análise estatística de tendências em séries temporais de precipitação e vazão para alguns pontos da bacia no período dos anos 60 e 70. Observou-se tendências crescentes nas séries de vazão e precipitação, que perduraram entre 10 e 15 anos. As tendências de precipitação e vazão foram qualitativamente semelhantes entre si, indicando que, provavelmente, tais tendências ocorreram devido a causas naturais e não devido a efeitos de alteração da cobertura vegetal.

### ABSTRACT

*The clearing of the tropical rainforest of Amazonia might cause alterations in the hydrologic cycle which would be observed in changes of rainfall and streamflow over the basin. An statistical analysis of trends in time series of rainfall and streamflow for stations in the basin was done for the period comprising the decades of the 1960's and 1970's. An upward trend in rainfall and streamflow was observed from early 1960's to mid 1970's. The trends in streamflow were qualitatively similar to the trends in precipitation. This result shows that this long-term trend in the hydrologic cycle in Amazonia was probably due to natural causes rather than to changes of the vegetation cover.*

### 1. INTRODUÇÃO

A análise de séries temporais hidrometeorológicas, no que se refere às tendências de médias anuais, é algo que depende bastante do número de dados que a compõe e da qualidade de tais dados. Descartados todos os tipos de erros que envolvem instrumentação e/ou manipulação dos dados, a indicação de tendências em séries hidrometeorológicas suficientemente longas pode ser consequência de dois aspectos, em síntese: modificações das características físicas ou biológicas in situ, tais como alteração da cobertura vegetal, atividades antropogênicas, etc e/ou variabilidade natural do ciclo hidrológico.

As séries hidrometeorológicas da região Amazônica são muito recentes na sua quase totalidade, com registros na sua maioria iniciados a partir de meados da década de 70. No entanto, existem algumas estações com registros mais antigos. As indicações de tendência que porventura ocorram devem ser analisadas sob o entendimento do regime de precipitação na América do Sul, especialmente na Amazônia. Os valores máximos dos níveis e descargas de rios encontrados na Bacia Amazônica dependerão fundamentalmente do total de precipitação na

respectiva área de drenagem e da distribuição temporal de precipitação associada. Especialmente para o Rio Amazonas, há uma ligação da influência dos seus tributários dos Hemisférios Norte e Sul, que possuem diferentes regimes, respectivamente (Nobre et al., 1984): a noroeste da Amazônia brasileira e na Amazônia colombiana a precipitação anual atinge 3000 mm, onde a estação seca não é bem definida; as regiões oeste, sul e sudeste da Amazônia têm precipitação anual de 1800 a 2200 mm, com estação seca entre os meses de junho a agosto; na costa atlântica a precipitação anual é também acima de 3000 mm, com curta estação seca, e a parte norte da bacia tem média anual em torno de 2000 mm, com estação seca de novembro a março. Esta última região é predominantemente influenciada pelo regime de chuvas do Hemisfério Norte, e sua contribuição nas séries de descargas e cotas será principalmente para os tributários da margem esquerda do Rio Negro.

Tais características determinam o máximo das cotas ao longo do Rio Amazonas: o mês de maio marca o início da diminuição das chuvas nas cabeceiras dos tributários do Hemisfério Sul e do aumento nas cabeceiras dos tributários do Hemisfério Norte. Devido ao tempo de residência, o baixo Amazonas tem seu máximo em meados de maio (forte influência do

Hemisfério Sul); o médio Amazonas tem o nível máximo no início de junho e o alto Amazonas, no início de julho.

Desde que se intensificou o processo de ocupação da Amazônia, que resultou em taxas cada vez maiores de remoção das florestas tropicais primárias, uma importante questão que vem à tona é se os desmatamentos já estariam afetando o regime hidrológico dos rios amazônicos.

Gentry e Lopez-Parodi (1980), que serão referenciados como GLP, indicaram a existência de uma tendência nos dados de cotas máximas do Rio Amazonas, em Iquitos, Peru, no período de 1962 a 1978. Esses autores observaram a ocorrência de aumento do nível máximo do rio nessa região de 1965 a 1977, ressaltando que essa tendência foi observada basicamente de meados da década de 60 até o início dos anos 70. Os autores alegaram que as mudanças da vegetação (retirada da floresta tropical) da Amazônia peruana e equatoriana na bacia de drenagem da estação Iquitos levaram ao aumento dos níveis mensais máximos

do alto Amazonas, juntamente com o fato da aparente estacionariedade das séries de precipitação de postos pluviométricos da bacia. Nobre (1980), criticando as conclusões em GLP, aponta algumas deficiências naquele estudo: a precipitação não foi obtida como uma média para estações homogêneas quanto à distribuição temporal, além do que a contribuição de cada uma para o nível do rio é algo bastante incerto e sem exatidão; além disso, nem todas as estações, individualmente, continham dados que cobriam o período total analisado, chegando ao fato de que para os últimos anos havia dados apenas para duas estações.

No presente trabalho analisaram-se várias séries pluviométricas e fluviométricas da Amazônia para as décadas de 60 e 70, com o fim de averiguar se eventuais tendências detectadas nas observações de cotas e vazões, como as registradas para Iquitos em GLP, podem ou não ser atribuídas ao desmatamento da Floresta Amazônica.

Tabela 1 - Estações fluviométricas

ESTAÇÃO	LOCALIZAÇÃO LAT/LONG	(PERÍODO) ANOS	ANO HIDROLÓGICO	DRENAGEM (km <sup>2</sup> )
Manacapuru (Rio Amazonas)	03°19'S/60°35'W	1903/1984	nov/out	2147736
Porto Velho (Rio Madeira)	08°46'S/63°54'W	1908/1947 1967/1985	set/ago	950582

Tabela 2 - Estações pluviométricas

ESTAÇÃO	LOCALIZAÇÃO LAT/LONG	(PERÍODO) ANOS	ANO HIDROLÓGICO	ALTITUDE (m)
<b>(Estações do alto Rio Negro)</b>				
Pari	00°10'S/69°56'W	1961/1978	out/set	114
Iauareté	00°37'S/69°12'W	1961/1978	out/set	120
Taraqua	00°04'S/68°14'W	1961/1978	out/set	105
Içana	00°23'S/67°19'W	1964/1976	out/set	89
S. Gabriel Cac.	00°08'S/67°05'W	1961/1978	out/set	90
S. Isabel R. Negro	00°25'S/65°00'W	1961/1978	out/set	45
<b>(Estações do Rio Madeira)</b>				
Porto Velho	08°46'S/63°55'W	1947/1981	jul/jun	95
Magdalena	13°20'S/64°09'W	1947/1981	jul/jun	141
Guayaramerin	10°51'S/65°25'W	1947/1981	jul/jun	126
Ascension de G.	15°42'S/63°06'W	1947/1981	jul/jun	245
Riberalta	11°01'S/66°07'W	1947/1981	jul/jun	135
S. Inacio de Moxos	14°55'S/65°36'W	1947/1981	jul/jun	160
S. I. Velasco	16°22'S/60°56'W	1947/1981	jul/jun	412
Cobija	11°05'S/68°52'W	1947/1981	jul/jun	280
<b>(Estações do alto Amazonas)</b>				
Iquitos	03°45'S/73°15'W	1951/1985	ago/jul	126
Pucallpa	08°23'S/74°32'W	1951/1984	jul/jun	154
Tarapoto	06°31'S/76°23'W	1951/1984	jul/jun	356
<b>(Outras estações)</b>				
Manaus	03°08'S/60°01'W	1941/1986	ago/jul	72
Santarém - Tap.	02°32'S/54°17'W	1961/1978	ago/jul	20
S. Elena Uairén	04°40'N/61°15'W	1951/1983	fev/jan	-
Conc. Araguaia	08°15'S/49°17'W	1941/1985	jul/jun	157
Itaituba	04°06'S/55°59'W	1941/1976	jul/jun	45

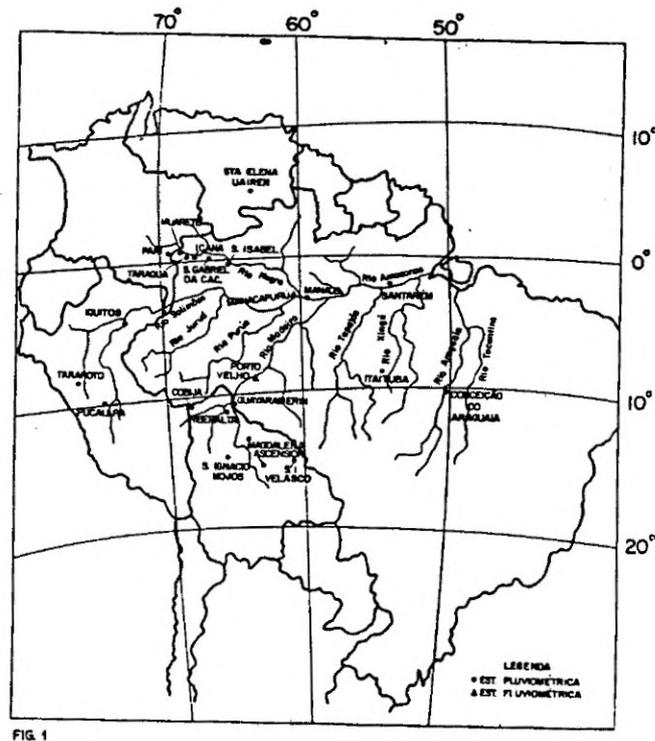


FIG. 1

## 2. DADOS E METODOLOGIA

Séries temporais de precipitação e descarga líquida dos rios da Bacia Amazônica são aqui analisados no período que compreende basicamente as décadas de 60 e 70. Os dados são oriundos do Banco de Dados Hidrológicos do DNAEE, do Consórcio Nacional de Engenheiros Consultores S/A (CNEC) e do Serviço Nacional de Meteorologia e Hidrologia (Peru).

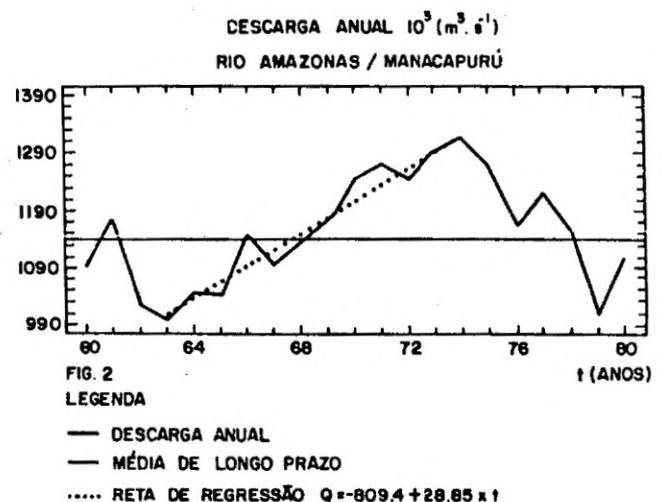
Como metodologia usada para os dados de cada estação, foi computado a vazão média anual, no caso de estações fluviométricas, e o total anual de precipitação, no caso de estações pluviométricas. Nesse processo os valores mensais foram somados para o respectivo período do ano hidrológico correspondente à estação. Como importante parâmetro de comparação e inspeção da tendência, a média de longo prazo também foi calculada. No cálculo da média de longo prazo o período de referência não foi o mesmo para todas as séries temporais, devido aos diferentes períodos de existência dos dados.

A Figura 1 mostra a região estudada, indicando as bacias hidrográficas e estações pluviométricas e fluviométricas utilizadas. Nas tabelas 1 e 2 encontram-se, respectivamente, as estações fluviométricas e pluviométricas analisadas neste trabalho, assim como as informações pertinentes a cada uma.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Rio Amazonas - Estação Manacapuru

São analisados os dados de descarga líquida total anual do Rio Amazonas, Manacapuru. Para o período de 1960 a 1980, a Figura 2 sugere um aumento da vazão média nessa época. Observa-se a notável tendência da média para o período de 1963 a 1974, cuja reta de regressão é assinalada na figura. A partir de 1975 as

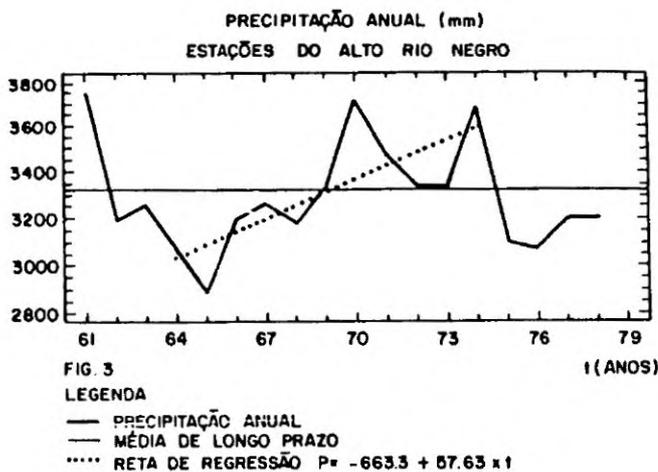


descargas anuais tendem a assumir valores menores, o que encerra a tendência crescente.

### 3.2. Precipitação na Bacia do Alto Rio Negro

Calculou-se um índice representativo da precipitação no Alto Rio Negro, tomado como a média das precipitações médias mensais de seis estações localizadas nessa região, indicadas na Tabela 2. Este índice de precipitação é considerado bastante representativo do regime de chuvas na região, uma vez que todas as estações têm uma distribuição temporal homogênea dos períodos de mínimos e máximos.

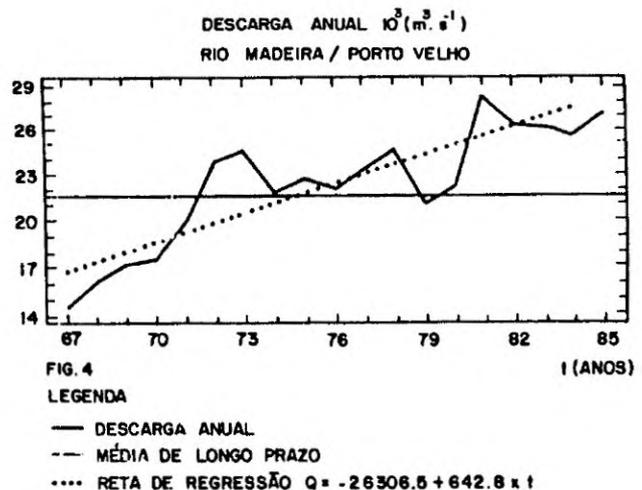
Esse índice é mostrado na Figura 3, onde se observa uma tendência de crescimento da média para os totais de precipitação anual para a região.



Particularmente para o período de 1964 a 1974, a reta de regressão é mostrada na figura.

### 3.3. Rio Madeira - Estação Porto Velho

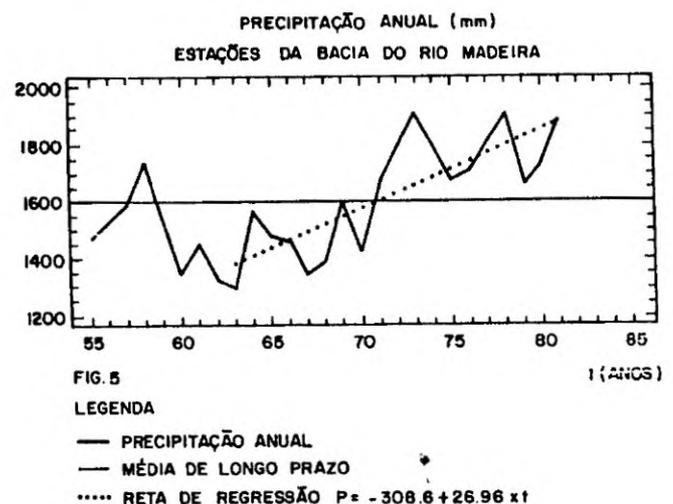
Analisaram-se dados de descarga líquida total anual para a estação de Porto Velho, Rio Madeira. Para o período compreendido entre 1967 e 1985, a Figura 4 sugere uma tendência positiva da média no tempo. Há aqui um fato interessante: a tendência detectada a partir de 1967 (cuja origem possivelmente remonta a uns 4 ou 5 anos antes desse, o que não é possível confirmar devido à inexistência de dados) é visualmente bem caracterizada até o ano de 1978, o que aparentemente está associado às mesmas tendências exibidas em Manacapuru e pelas estações do Alto Rio Negro. Porém, a partir de 1978, os valores anuais diminuem em pequena proporção relativamente à média, tendendo novamente a assumir valores bastante altos. Dessa forma, a tendência caracterizada entre 1967 e 1984 é mostrada na Figura 4. Adiante ver-se-á que o regime de chuvas na região apresenta uma associação direta com a tendência apresentada pelo regime hidrológico.



### 3.4. Precipitação na Bacia do Rio Madeira

A série de dados de precipitação total anual associada à bacia do Rio Madeira é obtida como uma média dos dados de oito estações dispersas na bacia, conforme indicado na Tabela 2. Esta série é bastante razoável como indicativa da contribuição para a vazão em Porto Velho, uma vez que toda a região de drenagem onde as estações estão dispostas é climatologicamente uniforme quanto à distribuição anual de precipitação.

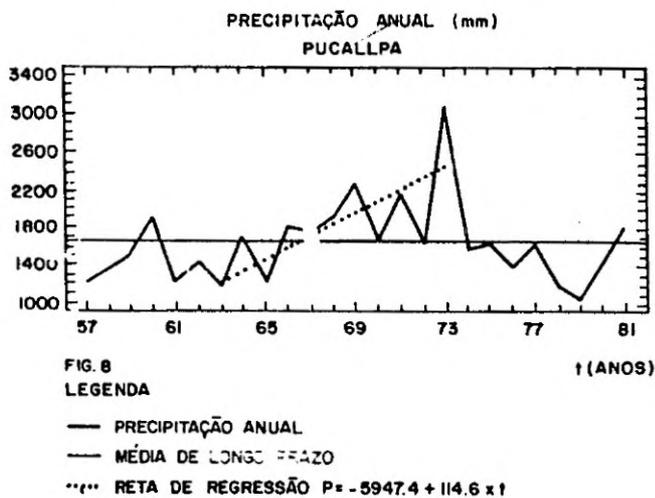
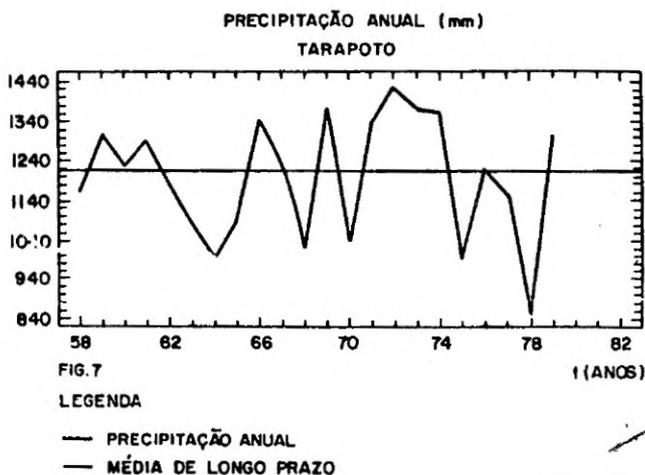
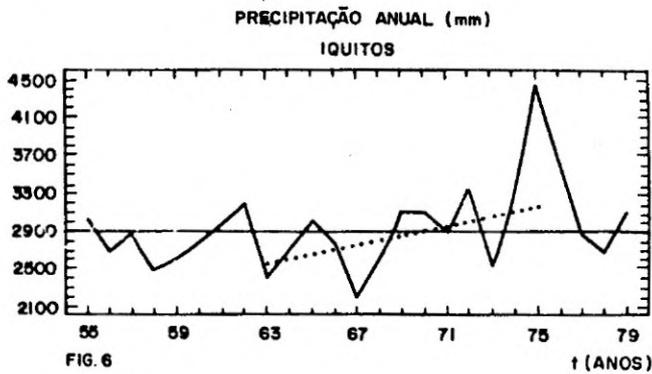
A Figura 5 mostra o índice de precipitação anual na bacia do Rio Madeira para o período compreendido entre 1955 e 1981, onde é detectada a tendência positiva dos dados de precipitação, particularmente para o período de 1963 a 1981, cuja reta de regressão é mostrada na figura.



### 3.5. Precipitação na Bacia do Alto Solimões (Peru)

Analisaram-se as séries temporais de precipitação total anual para três estações localizadas na região do Alto Solimões, Peru: Iquitos, Tarapoto e Pucallpa. As Figuras 6, 7 e 8 mostram, respectivamente,

os valores da precipitação anual para as estações de Iquitos (1955/1979), Tarapoto (1958/1979) e Pucallpa(1957/1981). Nota-se que, preferencialmente, as estações de Iquitos e Pucallpa refletem uma tendência positiva de crescimento da média, sendo esta mais acentuada em Pucallpa. A estação Tarapoto praticamente mantém-se estacionária e não segue o mesmo padrão geral de comportamento exibido pelas demais.

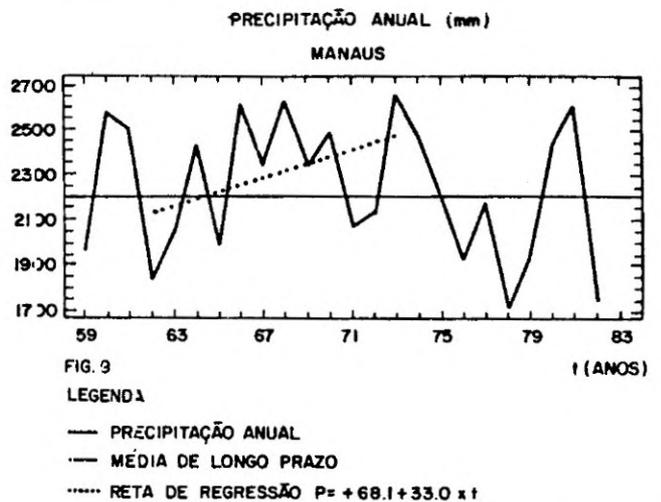


Estes resultados vêm confirmar a grande variabilidade a que está sujeita a precipitação naquela região, devido aos grandes contrastes topográficos presentes.

### 3.6. Regime de precipitação em outras estações da Bacia Amazônica

Com o fim de observar qual a área da Região Amazônica que foi sujeita a este tipo de tendência, analisam-se ainda algumas estações pluviométricas isoladas.

A análise da precipitação total anual da estação Manaus é vista na Figura 9 para o período de 1959 a 1982. É detectada uma tendência positiva da média no período de 1962 a 1973. A partir de então os valores voltam normalmente a oscilar em torno da média, o que descaracteriza a tendência.



A Figura 10 mostra a precipitação total anual para a estação Santarém (Taperinha), para o período compreendido entre 1961 e 1977. Nota-se que, particularmente entre 1964 e 1974, observa-se a tendência positiva dos valores de precipitação.

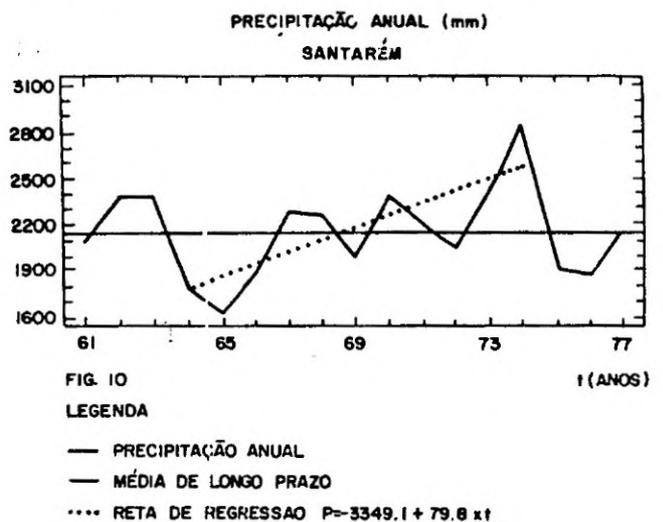
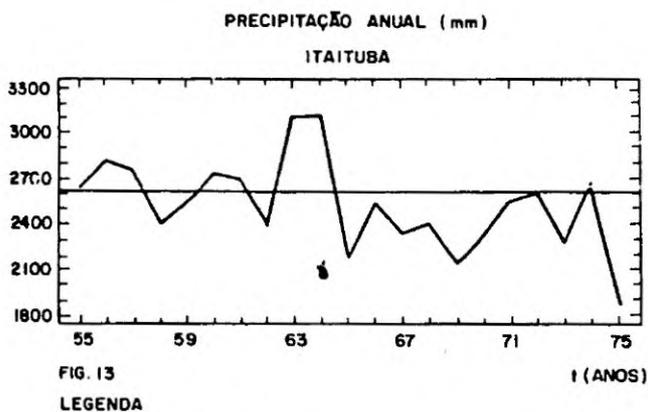
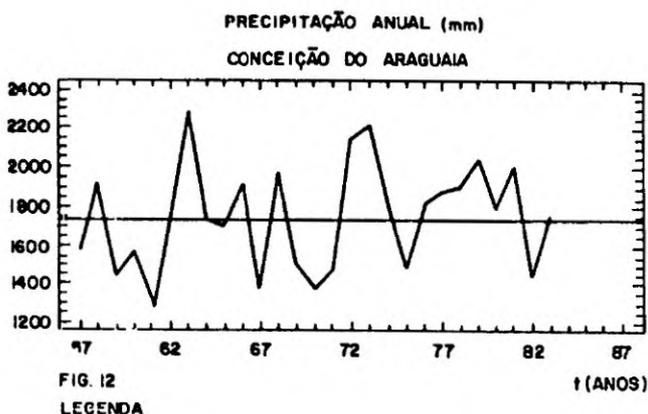
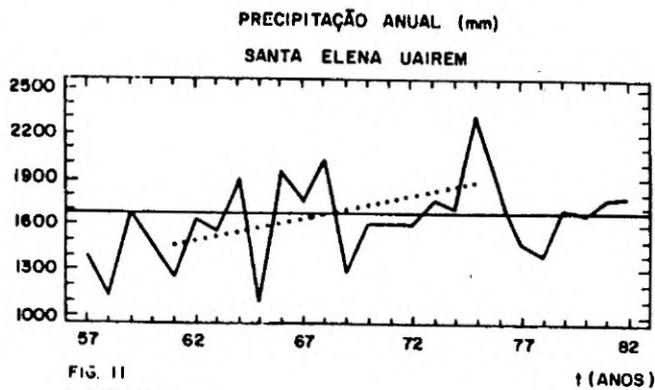


Figura 11 mostra a precipitação total anual da estação Santa Elena Uairen (Venezuela) de 1957 a 1982. Apesar da alta variabilidade anual, há uma ligeira tendência positiva, particularmente para o período entre 1961 e 1975.



As Figuras 12 e 13 mostram, respectivamente, os totais anuais de precipitação para as estações de Conceição do Araguaia e Itaituba, ambas localizadas na região mais a leste da Bacia Amazônica. Para Conceição do Araguaia, com dados entre 1957 e 1983, e Itaituba, com dados entre 1955 e 1975, não se observaram tendências nesse período.

#### 4. CONCLUSÕES

Dos resultados do presente trabalho há indicações de que, ao nível de grande escala na Bacia Amazônica, tenham ocorrido tendências de mesmo sinal nas descargas do médio Amazonas (Manacapuru) e de um importante tributário ao sul da bacia, o Rio Madeira (Porto Velho). Os dados de cotas máximas em Iquitos mostradas em Gentry e Lopes-Parodi (1980) também indicam essa mesma tendência no alto Amazonas. Aparentemente o regime de chuvas associado às regiões mais próximas destas estações (Manacapuru, Porto Velho e Iquitos) também reflete o mesmo tipo de tendência, o que explica razoavelmente os fatos observados. A isto adiciona-se o importante resultado de detecção do mesmo sinal da tendência nas médias de precipitação para a bacia nas regiões mais ao norte, como as regiões do Alto Rio Negro, inclusive o sul da Venezuela, pelo menos é o que indica a estação Santa Elena Uairen. Também no baixo Amazonas, nas proximidades de Santarém, foi observado o mesmo tipo de tendência do regime de chuvas. Entretanto este comportamento não atingiu as zonas extremas no leste da Bacia Amazônica, conforme observado pelos índices de chuva em Itaituba e Conceição do Araguaia. Como estas duas estações localizam-se respectivamente, nas bacias dos Rio Xingu e Araguaia, pode-se a princípio supor que no sudeste da Bacia Amazônica, onde se situam as cabeceiras destes dois rios, não tenha havido a existência do sinal de tendências positivas.

As vazões em Manacapuru refletem as chuvas no alto e médio Amazonas. Também, devido à sua proximidade com a foz do Rio Negro, refletem as chuvas na bacia de drenagem deste importante tributário do Hemisfério Norte. Já as vazões do Rio Madeira em Porto Velho refletem as chuvas na porção sudoeste da Bacia Amazônica. Os índices de precipitação das Bacias do Rio Madeira e Rio Negro, além de pontos isolados no Peru e Amazônia Central, acompanharam, pelos menos qualitativamente, as tendências dos dados fluviométricos. Desta forma pode-se dizer que a tendência de cotas e vazões crescentes observada do início dos anos 60 a meados dos anos 70 deveu-se provavelmente ao incremento das chuvas e não a uma mudança no regime hidrológico devido ao desmatamento. Adicionalmente, pode-se dizer que, com exceção da Bacia do Rio Madeira, as vazões e precipitações voltaram a oscilar em torno de seus valores médios de longo prazo no final da década de 70 e início dos anos 80.

Como primeiras conclusões, pode-se dizer que, ao menos nas regiões central, norte, sul e oeste da Bacia Amazônica deve ter havido a ocorrência de um fenômeno de grande escala que tenha provocado esse tipo de tendência no regime de chuvas, para o período de início da década de 60 a aproximadamente meados dos anos 70. Richey et al. (1989) mostraram que as vazões do Rio Amazonas em Manacapuru exibem significativa variabilidade interanual, parte desta variabilidade está ligada ao fenômeno ENOS. Entretanto, a variabilidade das chuvas em grande parte da Amazônia identificada neste trabalho apresentou uma escala temporal de 10 a 15 anos. Atualmente desconhecem-se mecanismos físicos que possam explicar a variabilidade do regime de precipitação nesta escala temporal na Amazônia.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Divisão de Controle de Recursos Hídricos do DNAEE, Brasília, DF, pelo fornecimento da maior parte dos dados utilizados neste trabalho.

#### 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DNAEE Divisão de Controle de Recursos Hídricos - Bacia do Rio Amazonas, dados pluviométricos mensais atualizados até 1982; alturas pluviométricas mensais. Brasília, 1985.
- GENTRY, A.H.; LOPEZ-PARODI, J. Deforestation and increased flooding of the upper Amazon. *Science*, 210:1354-1356, 1980.
- NOBRE, C.A. Comments on "Deforestation and increased flooding of the upper Amazon". Comunicação pessoal, 1980.
- NOBRE, C.A.; PAIÃO, L.B.F.C.; AMÊNDOLA, M. Análise espectral das cotas do Rio Negro em Manaus. INPE - 3365 -PRE/642, Dez. 1984
- RICHEY, J.E; NOBRE, C.A.; DESER, C. Amazon river discharge and climate variability: 1903-1985. *Science*, 246:101-103, 1989 .