

Tendências Hidrológicas da Bacia do Rio Paraíba do Sul

José A. Marengo, Lincoln Muniz Alves

CPTEC/INPE, Rodovia Dutra km. 40, 12630-000 Cachoeira Paulista, São Paulo

Resumo - Este trabalho tem a intenção de analisar as tendências negativas sistemáticas detectadas em la series históricas de vazões e cotas do Rio Paraíba do Sul desde 1920. Esta bacia abrange uma das mais desenvolvidas áreas industriais do País em São Paulo, Minas Gerias e Rio de Janeiro, arrecada cerca de 10% do PIB nacional e já assume um papel de destaque na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. As águas do Rio Paraíba do Sul abastecem em torno de 15 milhões de pessoas, maiormente em regiões metropolitanas que dependem primordialmente de suas águas. Uma queda sistemática nas vazões pode ter graves conseqüências sociais e econômicas, e uma das causas apontadas pelos governos locais é uma possível queda no volume de chuvas. Uma análise estatística sistemática em series pluviométricas e fluviométricas detecta de fato as tendências negativas nas vazões, mais não detectam quedas sistemáticas nas chuvas na bacia, e ate em alguns pontos a chuva tem aumentado nas ultimas décadas. Uma análise de correlação serial de estas series hidrológicas mostram uma alta correlação entre vazões de em vários anos consecutivos, sugerindo que a regulação de uso da água para abastecimento, geração de energia, e desvio de rios para usos na agricultura podem ser os responsáveis pelas quedas sistemáticas nas vazões, e não uma mudança climática do regime de chuva na bacia.

Abstract – This study is directed to na analysis of the negative river streamflow tendencies detected in the Paraíba do Sul River series since the 1920's. This basin covers one of the most developed and industrialized regions of Brazil in the states of São Paulo, Minas Gerais and Rio de Janeiro, and is responsible for almost 10% of the Gross National Product, and it has a primary role in the National Water resources Policy. The waters of the Paraíba do Sul River supply the demands of almost 15 million people in mostly large cities; depend primarily from this water supply. Any reduction in the volume of its waters may have large social and economical impacts, and currently the thinking on many of the city governments across the valley is that the rains are decreasing systematically. A detailed statistical analysis applied to the river streamflow and rainfall series in several stations in the valley detect the negative streamflow tendencies. However, there are no signs of any significant rainfall reduction in the valley, and in fact, some stations show small rainfall increases in time during the recent decades. Am autocorrelation analysis performed on the river streamflow series show a large autocorrelation in consecutive years, suggesting than regulation in the operation of reservoirs for water use (hydroelectric generation, irrigation, human consumption) are responsible for the negative streamflow tendencies, rather than a climate change in the form of changes in the rainfall regime in the basin

1. INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial e o comprometimento cada vez maior dos corpos d'água faz com que a escassez desse recurso vital torne-se, não apenas o cenário de um futuro sombrio, mas uma ameaça cada vez mais presente. O rio Paraíba do Sul, ao

atravessar os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, é utilizado para fins domésticos e industriais, não só como fonte de abastecimento mas também como receptor de efluentes. No seu curso natural, o rio Paraíba do Sul, em território paulista, é ladeado pelas Serras do Mar e Mantiqueira. Após sua formação pela união dos rios Paraitinga e Paraibuna, passa por todo o Vale do Paraíba e adentra o estado do Rio de Janeiro, onde deságua no Oceano Atlântico, em São João da Barra, depois de ter percorrido 1.180 km (Amorim e Ferreira 2000),

Esta bacia abrange uma das mais desenvolvidas áreas industriais do País, cuja rede de drenagem ocupa uma área de aproximadamente 55.500 km² em três dos Estados mais importantes do país (São Paulo, Minas Gerias e Rio de Janeiro), arrecada cerca de 10% do PIB nacional e já assume um papel de destaque na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos. É importante salientar que em geral as vazões fluviais apresentam grande variabilidade sazonal. Porém, no Vale do Paraíba, região que usufrui dos recursos do rio Paraíba do Sul, as vazões apresentam certa regularidade, garantida pelos reservatórios de cabeceira (dos rios Paraitinga/Paraibuna; Santa Branca e Jaguari), situação que é pouco alterada pelos afluentes do Paraíba a jusante destes reservatórios. O vale do Rio Paraíba do Sul revela progressivo processo de industrialização e urbanização assim como degradação ambiental. Segundo a ANA (Agência Nacional de Águas, 2003), o intenso uso urbano, industrial e energético que se faz dos recursos hídricos da bacia contribuíram para o aumento da demanda de água e sérios indícios de comprometimento com a quantidade e qualidade dos recursos hídricos hoje observados.

As águas do Rio Paraíba do Sul abastecem em torno de 15 milhões de pessoas, 87% das quais residentes em região metropolitana. A tendência de concentração populacional nas áreas urbanas, como pode ser observado na Tabela 1, segue o mesmo padrão de outras regiões brasileiras e é um dos fatores responsáveis pelo aumento da poluição hídrica na bacia (IBGE, 1996). Em toda sua extensão há atualmente 180 municípios, onde se localizam 7.000 indústrias, as quais apresentam elevado potencial poluidor, cuja geração de resíduos se revertem em impactos negativos, e cerca de 6.000 pequenas, médias e grandes fazendas que dependem primordialmente de suas águas.

Tabela 1. Gráfico da evolução da população no vale do Paraíba do Sul desde 1970 ate 1996 (Fonte: IBGE)

População	1970	1980	1991	1996
Total	3.341.854	4.096.138	4.944.056	5.246.066
Urbana	2.197.643	3.164.317	4.231.244	4.560.231
Rural	1.144.211	931.821	712.812	685.835
% Urbano	66	77	86	87

A bacia do Rio Paraíba do Sul tem sido palco para a implantação de uma série de aproveitamentos de usos múltiplos da água, visando à regularização de vazões, o controle de cheias e a geração de energia elétrica. No trecho paulista da bacia destacam-se os aproveitamentos de potência instalada de Paraibuna/Paraitinga (86 MW), Santa Branca (58 MW) e Jaguari (27.6 MW). Os reservatórios de Paraibuna/Paraitinga e Jaguari são os que apresentam maiores volumes de regularização de vazões, sendo os principais responsáveis em garantir o abastecimento da região metropolitana de Rio de Janeiro (CBH/PS 2003). Além do abastecimento domiciliar da população residente na bacia, as

águas do Paraíba do Sul constituem o principal manancial de abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, atendendo a uma população de mais de 8 milhões de habitantes.

A importância política e econômica da bacia do Rio Paraíba do Sul no contexto nacional vem exigindo ações do Governo e a mobilização de diversos setores da sociedade para a recuperação dessa bacia que, tem registrado tendências decrescentes nas vazões do rio em vários postos no canal principal desde Paraibuna até Campos. Entre possíveis causas de esta redução sistemática nas vazões e cotas do Paraíba do Sul temos: (a) efeitos antropogênicos de uso da água para abastecimento e geração de energia com a construção de barragens e açudes, (b) desvio de rios para usos na agricultura e que pode aumentar a evaporação, (c) mudanças no uso da terra que pode afetar vazões, (d) mudanças gradativas no canal do rio devido à sedimentação e deposição de sedimentos que podem não ter sido considerados no momento de calcular vazões usando a curva chave, e (e) mudanças gradativas no regime e distribuição de chuvas na bacia decorrentes de mudanças climáticas regionais.

Estudos prévios sobre tendências nas séries hidrológicas do rio Paraíba do Sul (Marengo 1995, Marengo et al. 1998) mostraram, tendências negativas nas cotas do rio Paraíba do Sul no posto fluviométrico de Campos, porém não foi feita uma análise da variabilidade ou tendência em outros postos fluviométricos no canal principal do rio, nem um análise da variabilidade de longo prazo da chuva na bacia. Assim, neste estudo serão analisados séries de chuva e vazão em vários postos hidrometeorológicos na bacia do Paraíba do Sul desde 1920, com a finalidade de identificar tendências hidrometeorológicas, e associá-las a mudanças observadas nas vazões do Rio Paraíba do

Sul com tendências nas chuvas, ou com efeitos antropogênicos de regularização das vazões e/ou mudanças no uso da terra.

2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DA BACIA

Fisiografia da bacia

O Rio Paraíba do Sul nasce na Serra da Bocaina, no Estado de São Paulo, a 1.800m de altitude, e deságua no norte fluminense, no município de São João da Barra, percorrendo uma extensão aproximada de 1.150km. Sua bacia tem forma alongada, com comprimento cerca de três vezes maior que a largura máxima, e distribui-se na direção leste-oeste entre as serras do Mar e da Mantiqueira, situando-se em uma das poucas regiões do país de relevo muito acidentado, de colinoso a montanhoso, chegando a mais de 2.000m nos pontos mais elevados, onde se destaca o Pico das Agulhas Negras no maciço do Itatiaia, ponto culminante da bacia, a 2.787m de altitude.

Ao longo de seu percurso, o rio Paraíba do Sul apresenta trechos com características físicas distintas, os quais podem ser divididos de acordo com a seguinte classificação:

- Curso superior: estende-se da nascente até a cidade de Guararema (SP), a 572m de altitude, apresentando fortes declives e regime torrencial, com declividade média de 4,9 m/km e extensão de 317km.
- Curso médio superior: começa em Guararema e segue até Cachoeira Paulista (SP), onde a altitude é de 515m. Nesse trecho, o rio é bastante sinuoso e meandrado,

percorrendo terrenos sedimentares de grandes várzeas. A declividade média cai para 0,19 m/km numa extensão de 208km.

- Curso médio inferior: situa-se entre Cachoeira Paulista (SP) e São Fidélis (RJ), onde a altitude é de 20m, a declividade média, de 1,0 m/km, e sua extensão, 480 km. O rio apresenta-se encaixado e com trechos encachoeirados.

Curso inferior: o trecho final do Paraíba estende-se de São Fidélis à foz, com 95 km de extensão e declividade média de 0,22 m/km, atravessando a Baixada Campista, extensa planície litorânea.

Clima e hidrologia

O clima da bacia hidrográfica do Paraíba do Sul é caracterizado como subtropical quente, com temperatura média anual oscilando entre 18°C e 24°C. As máximas precipitações ocorrem nas cabeceiras mineiras da bacia e nos pontos mais altos das serras do Mar e Mantiqueira, chegando a valores de 2250 mm/ano. O período de verão é caracterizado como chuvoso com precipitação acumulada entre 200 e 250 mm/mês, nos meses com máxima precipitação (dezembro e janeiro), enquanto que no inverno temos o intervalo entre os meses de maio a julho o período mais seco, com precipitação acumulada inferior a 50 mm/mês.

Entre os afluentes mais importantes do Rio Paraíba do Sul destacam-se, pela margem esquerda, os rios Jaguari, Paraibuna, Pirapetinga, Pomba e Muriaé e, pela margem direita, Bananal, Pirai, Piabanha e Dois Rios. As vazões médias de longo termo em algumas estações fluviométricas, situadas no rio Paraíba do Sul, consta na Tabela 2. Figura 1 mostra o ciclo anual das vazões/cotas em vários postos a longo do Rio Paraíba

do Sul, observando-se que as máximas vazões acontecem no período de dezembro-março e com máximos em janeiro-fevereiro.

Tabela 2. Vazões médias de longo termo ao longo do Rio Paraíba do Sul (Fonte: ANA).

Posto Fluviométrico	Vazão media (m ³ /s)
Pindamonhangaba	154
Queluz	181
Itatiaia	231
Volta Redonda	283
Barra do Pirai	144
Anta	453
São Fidelis	627

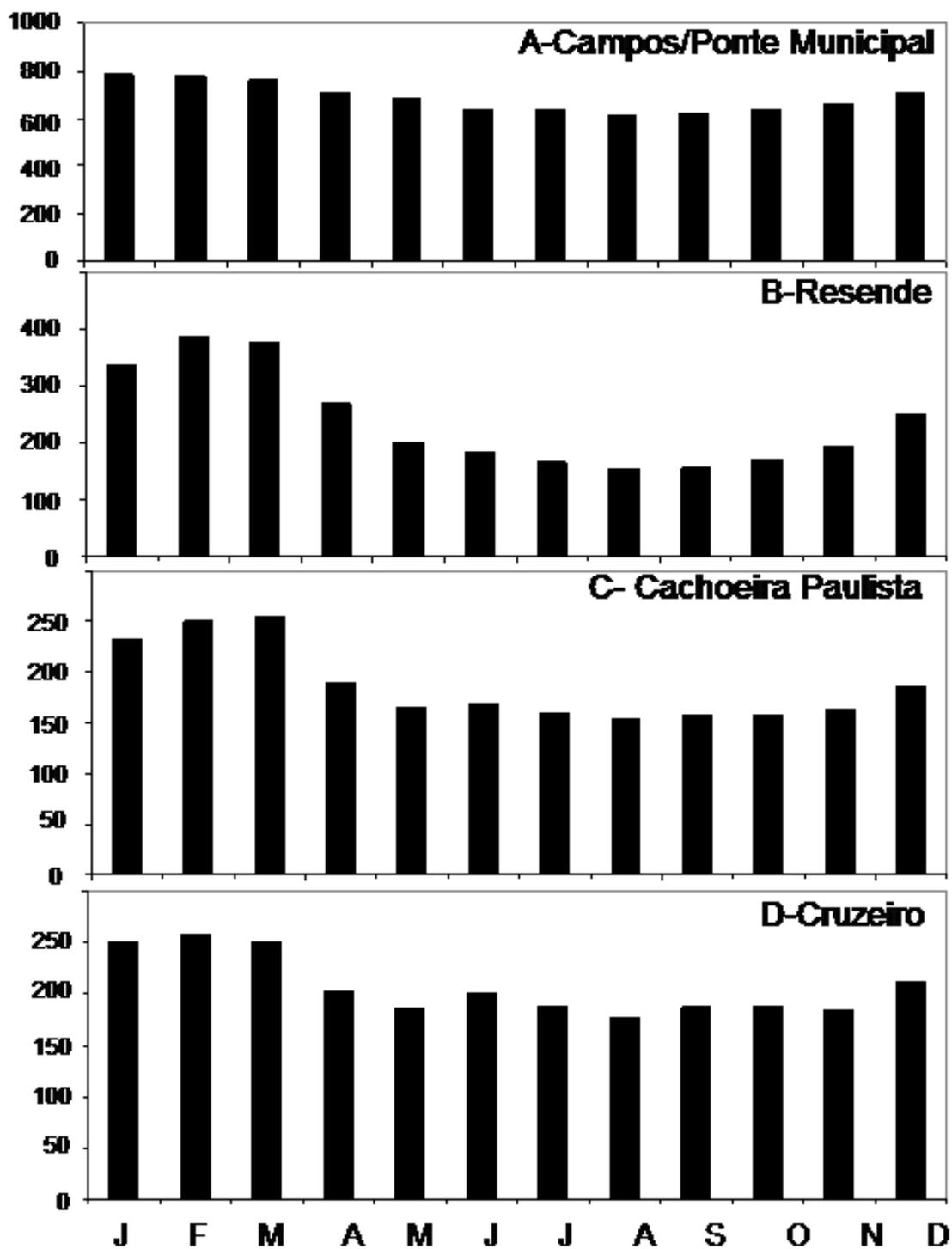


Figura 1

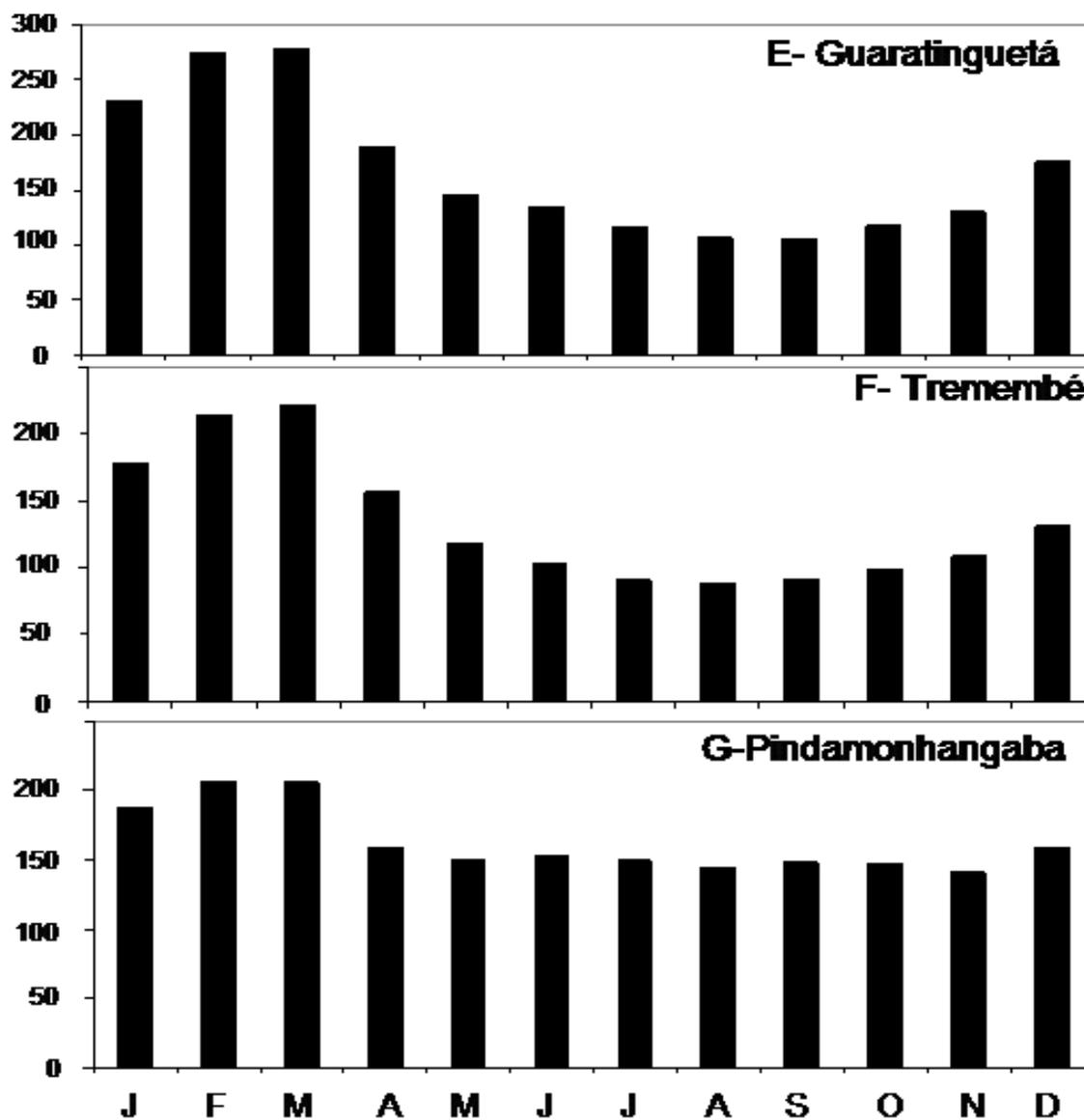


Figura 1 - Ciclo anual de vazões e/ou cotas do Rio Paraíba do Sul em vários postos no estado de São Paulo e Rio de Janeiro (Fonte: ANA, DAEE)

3. DADOS E METODOLOGIA

Chuva e vazão

Neste estudo foram utilizados médias mensais de chuva e vazão e/ou cotas do banco de dados do DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo), bem como da ANA, com registro no período 1920-2000. Também foram utilizados dados de chuva em ponto de grade (0.5° - 0.5° lat-lon) do Climate Research Unit CRU (New et al., 2000) entre o período de 1930 e 1998. Os dados da CRU usam técnicas de interpolação "thin-plate splines" para cobrir falhas na cobertura dos dados dos postos pluviométricos considerando latitude, longitude e altitude. New et. al. (2000) analisaram a certeza da climatologia de chuva do CRU usando "cross-validation" comparando com outras climatologias de chuva em ponto de grande ou em postos pluviométricos.

Análise de tendências

A direção e significância estatística das tendências nas séries de chuva e vazões foram determinadas segundo o teste de Mann-Kendall (Press et al. 1989). Este teste tem sido usado extensivamente em estudos de tendências hidrológicas (Marengo et al., 1995; Dias de Paiva e Clarke 1995; Chiew et al., 1993; Lettenmaier et al., 1994, Marengo et al., 1998). Porém, este assume que a série não apresenta autocorrelação, como por exemplo, na análise da chuva, entretanto, nada se pode concluir para uma série de vazões, especialmente quando estas séries apresentam variabilidade de longo prazo resultado de regularização.

4. **DISCUSSÕES**

Devemos lembrar, em primeiro lugar, que nos anos de 2001, 2002 e 2003 (CPTEC, 2003), as chuvas no período chuvoso (novembro a março) foram abaixo da média de longo termo nas cabeceiras do Paraíba do Sul. Outro fato que merece ser mencionado é a crise energética, que assolou as regiões sudeste e nordeste, em que as chuvas no verão 2000/2001 foram inferiores a 50% da média histórica (Cavalcanti et. al., 2001) e o volume útil dos principais reservatórios hidroenergéticos chegou à 15%. O fato das chuvas do período chuvoso 2002/2003 terem se iniciado durante as primeiras semanas de novembro (Marengo et al., 2001) evitou o tão anunciado “apagão”.

Pode-se afirmar que as chuvas do verão 2002/2003 tiveram um início climatológico, ou seja, os valores acumulados nos meses de novembro e dezembro de 2002 foram em torno da média de longo termo. Entretanto, os totais acumulados nos meses subseqüentes foram inferiores a 50% da média histórica, fechando a estação com um déficit significativo (Figura. 2).

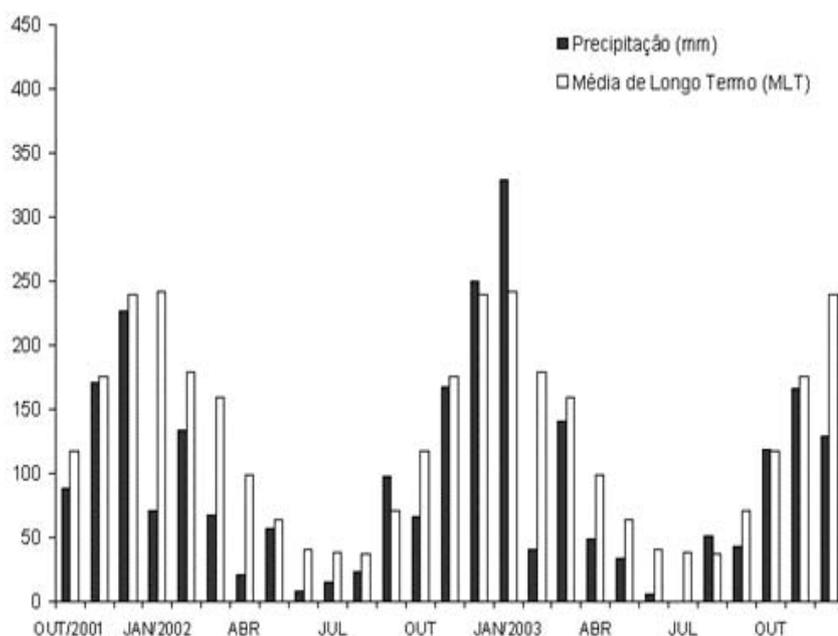


Figura 2

Precipitação média mensal na bacia do Rio Paraíba do Sul desde outubro 2001 até setembro 2003. As barras em tons de cinza escuro representam a precipitação acumulada no mês e em tons de cinza claro representam a média de longo termo.

Na atualidade (final de 2003), a situação reflete ainda um quadro preocupante, no qual os reservatórios localizados nas cabeceiras do Paraíba do Sul, em território paulista, estão com cerca de 14% do volume máximo decorrente dos baixos totais acumulados de chuva nos anos anteriores.

. Tendências nas vazões dos Rios Negro na Amazônia, São Francisco no Nordeste (Marengo et. al., 1998) e Piracicaba (Moraes et. al., 1996) mostram que em alguns casos as séries de vazões dos rios mostram autocorrelação, o que muitas vezes acontece em bacias com grande capacidade de armazenamento de água no solo ou com regularização devido a estruturas hidráulicas. Estudos preliminares (Marengo, 1995) mostraram, tendências negativas nas cotas do rio Paraíba do Sul no município de Campos, e uma análise de autocorrelação nestas séries mostraram possíveis efeitos da regularização como causa de esta tendência negativa sistemática, porém não foi feita uma análise da variabilidade ou tendências da chuva na bacia.

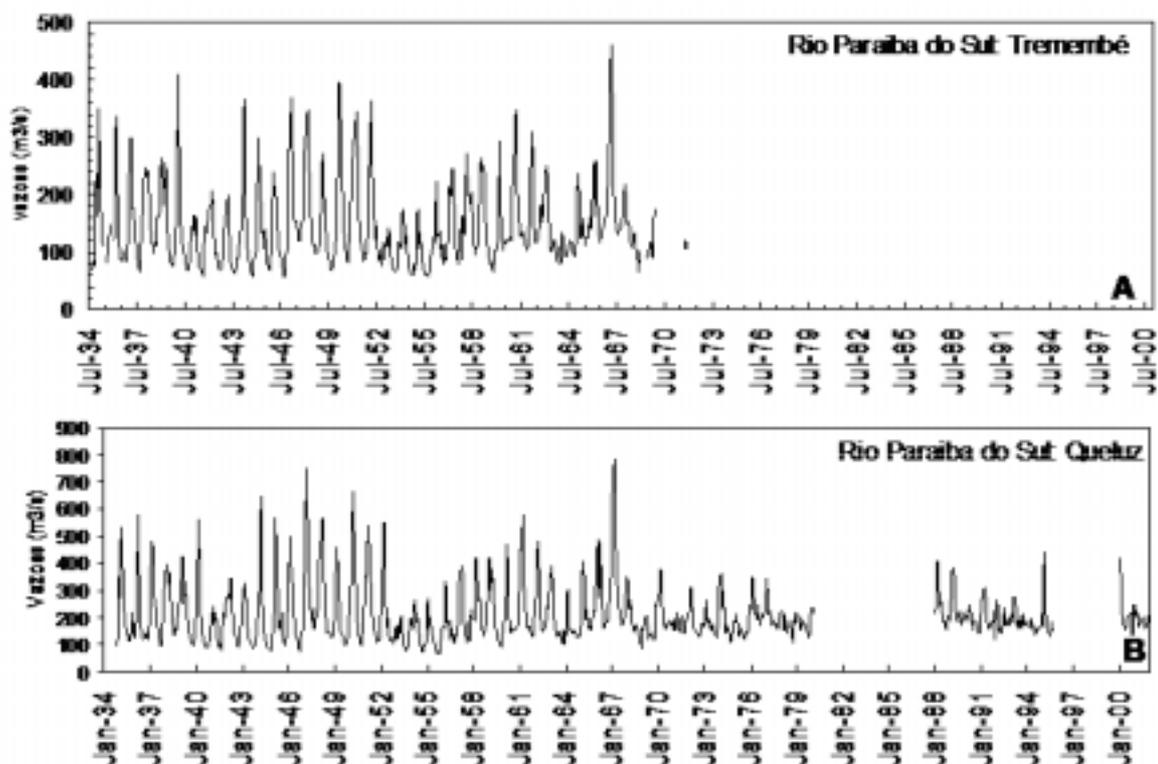
Tendências das vazões

Estudos em outras regiões do mundo também usaram vazões de rios como indicadores da variabilidade climática (Dettinger et. al., 2000) em varias regiões do mundo. Estes estudos baseados nos registros hidrológicos não mostram tendências climáticas que podem ser atribuídas ou que indiquem mudança climática.

Existe ao longo da Bacia do Paraíba do Sul um grande número de postos fluviométricos, entretanto, é importante destacar que vários postos apresentam falhas em seus registros, alguns foram desativados e outros começaram a ser operacionalizado recentemente. Desta forma, ressalta-se a grande dificuldade em identificar tendências hidrometeorológicas baseadas unicamente em séries de vazões ou cotas dos rios. A Figura 3a-e mostra as séries mensais de vazões e cotas em vários postos na bacia do Paraíba do Sul no estado de São Paulo e Rio de Janeiro. Observa-se períodos com falhas na informação após de 1970 em Tremembé e Queluz e desde 1980 em Cruzeiro, e depois

1955 em Cardoso Moreira. De maneira geral, não se observa tendência nas séries analisadas, com exceção do posto de Campos (Figura 3e), que mostrou uma tendência negativa, estatisticamente significativa, como mostrado anteriormente por Marengo (1995) e Marengo et. al., (1998).

Inserir Figura 3



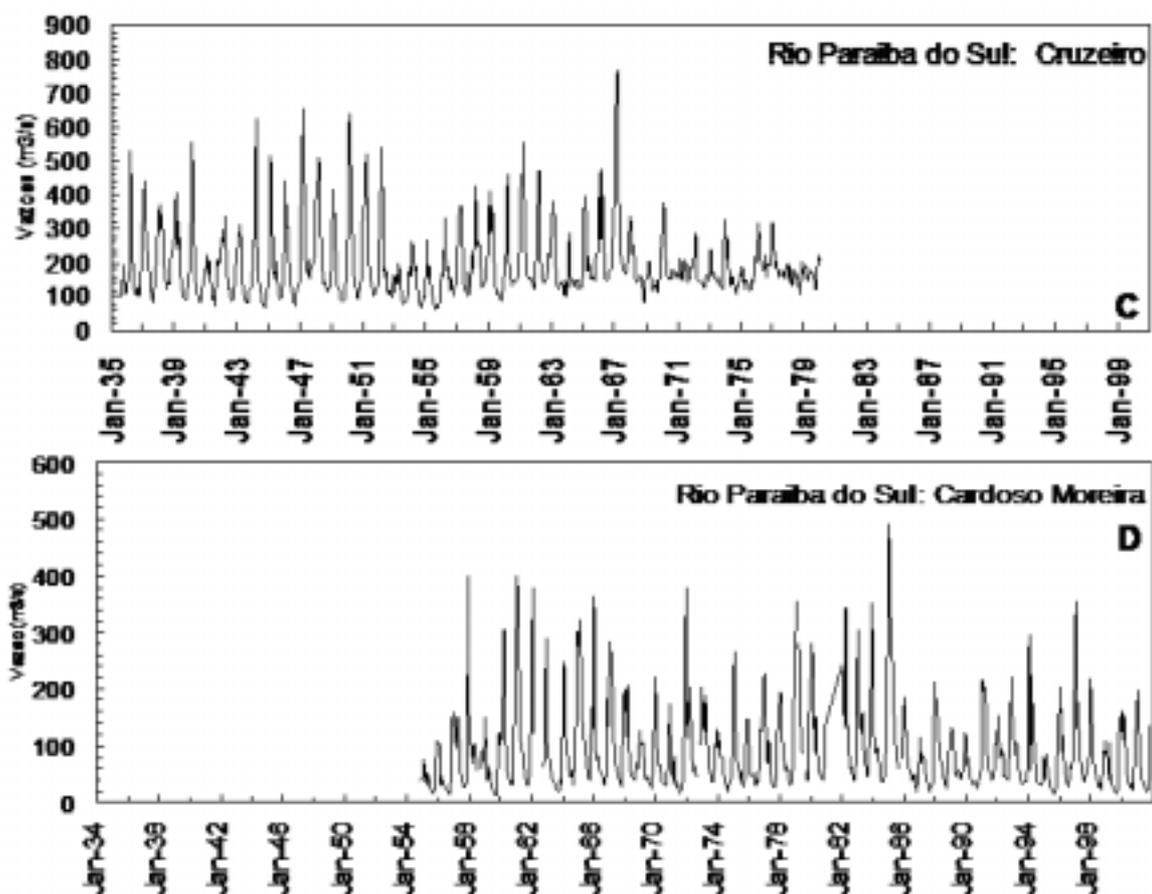


Figura 3 - Série temporal das vazões e/ou cotas do Rio Paraíba do Sul em alguns postos no estado de São Paulo e Rio de Janeiro.

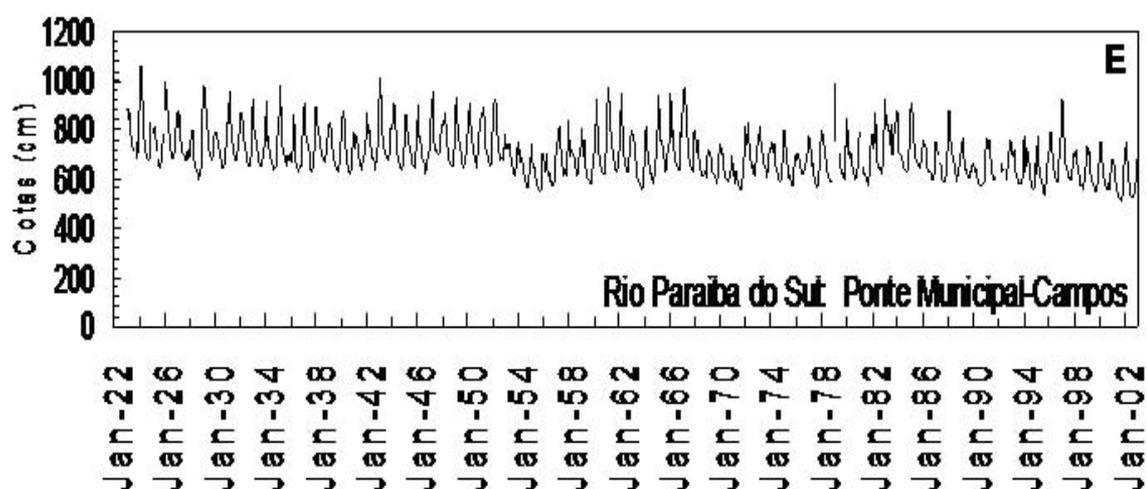


Figura 3a-e

A Figura 4 que mostra as séries hidrológicas de alguns postos na bacia do Paraíba do Sul permite concluir que os valores mais elevados de vazão e/ou cotas em relação à média de longo termo, são observados no período de 1966-1968 e 1990-2000. É possível observar ainda que os menores valores foram entre 1952 e 1957, período este correspondente a grande estiagem de 1955. É evidente ainda que as séries de vazão e/ou cota dos postos de Queluz e Cruzeiro mostram valores sistematicamente baixos após 1970 e entre 1960-80, respectivamente. Considerando ainda que o ciclo anual não mudou

e que os valores mudaram, e por comparação com outras séries hidrológicas, aparentemente teve uma mudança na curva chave ou na instrumentação do posto, ou gerenciamento no uso da água. Desta forma, a diminuição não parece estar associada a fatores climáticos e sim a fatores na regularização das vazões do rio. As séries de Cardoso Moreira, Campos e Queluz mostram valores baixos durante a estiagem de 2001.

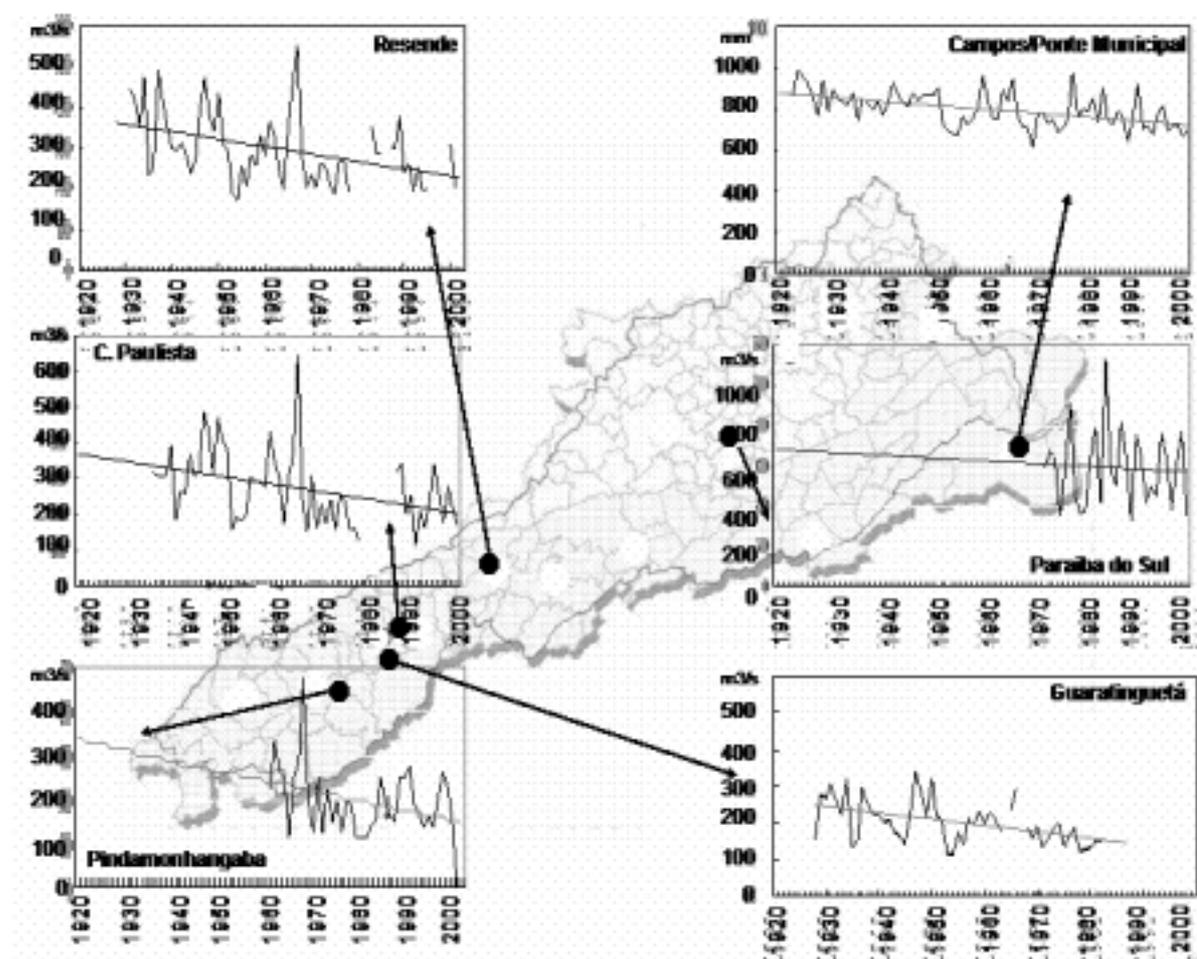


Figura 4 - Variabilidade de longo termo da vazões do Rio Paraíba de Sul durante o período Dezembro-Fevereiro em postos de São Paulo e Rio de Janeiro, durante o período 1930-2000. A linha contínua em cada painel mostra a tendência linear das vazões no período observado.

A Tabela 3 mostra as tendências negativas detectadas nas séries da Figura 4. O teste de Mann-Kendall foi aplicado aos registros de vazões e/ou cotas na bacia do Paraíba do Sul e mostra a presença de tendências negativas em todas os postos fluviométricos da Figura 3, que são estatisticamente significativas aos níveis de 5% e 1%.

O abastecimento de água para população, para o uso industrial e geração elétrica dependem das vazões do rio. Portanto, se estas tendências negativas são reais, então estaríamos frente a uma grave crise hidrológica nos anos futuros, como aconteceu em 2001, ficando na dúvida se esta tendência seria associada a diminuição gradativa das chuvas na bacia ou devido a fatores antropogênicos.

Tabela 3. Postos fluviométricos usados para detectar tendências nas vazões e/ou cotas do Rio Paraíba do Sul durante o período de máximas vazões (dezembro-fevereiro). A tabela mostra o período de registro, o parâmetro de Mann-Kendall indicando a direção da tendência e o nível de significância estatística: sem significância estatística (NS); (*) e (**) indica o nível de significância de 5% e 1% respectivamente.

Posto Pluviométrico	Registro (anos)	Parâmetro de Mann-Kendall	Tendência
Resende	71	-0.166	*
Cachoeira Paulista	61	-0.156	*
Pindamonhangaba	43	-0.229	**
Campos/Ponte Municipal	65	-0.277	**
Paraíba do Sul	79	-0.100	*
Guaratinguetá	53	-0.114	*

Segundo a ANA (2003), a região compreendida no Vale do Paraíba, desde a região de Cruzeiro e Queluz, no trecho paulista da bacia, até a região de Vassouras, no trecho fluminense, principalmente entre o Rio Paraíba do Sul e a rodovia Presidente

Dutra, é das mais críticas quanto à ocorrência de erosão acelerada, com muitas ravinas e voçorocas ao longo das íngremes encostas cobertas por ralas pastagens. O volume de sedimentos transportados para o rio, nessa região, é incalculável, e os resultados podem ser observados na turbidez do rio e nos problemas de assoreamento dos reservatórios de Funil e do Sistema Light, que recebe as águas do Paraíba do Sul desviadas em Barra do Piraí. Tal situação pode ter alterado a curva chave, e conseqüentemente deva ter provocado nas séries erros sistemáticos que determinam as tendências negativas aparentes detectadas em alguns dos postos fluviométricos da região.

As tendências decrescentes nas vazões do Paraíba do Sul estão associadas à mudança natural ou antropogênica do clima?

O relatório do IPCC (2001) mostra que na região Sudeste do Brasil, durante o período 1901-1995 as chuvas apresentam um aumento de menos de 20%, porém devido à resolução dos dados de chuva usados no estudo do IPCC (climatologia do CRU, de 5-5 graus lat-lon) não se observa muito detalhe para a bacia do Paraíba do Sul. A Figura 5 mostra a série temporal da precipitação na bacia para os meses de dezembro a fevereiro e janeiro a março, utilizando a mesma climatologia do CRU, entretanto com uma resolução de 2.5-2.5 graus lat-lon.

De maneira geral, a chuva média na bacia não apresenta tendência positiva ou negativa significativa que possa explicar as tendências negativas observadas nas vazões do Rio Paraíba do Sul. Entretanto, observa-se uma forte variabilidade interdecadal, com precipitações reduzidas durante o período 1954-57 e acima da média no período 1966-68 durante o pico da estação chuvosa. Estes extremos são consistentes com os períodos de

reduzidas vazões/cotas durante 1955 e elevadas vazões/cotas durante 1966-68 já mostrados na Figura 5. Uma análise pontual da chuva em alguns postos pluviométricos na bacia alta e media nos estados de SP e RJ (Figura 6) confirma que não há tendências significativas positivas ou negativas durante a estação chuvosa dezembro-fevereiro na bacia durante o período da análise (1930-2000).

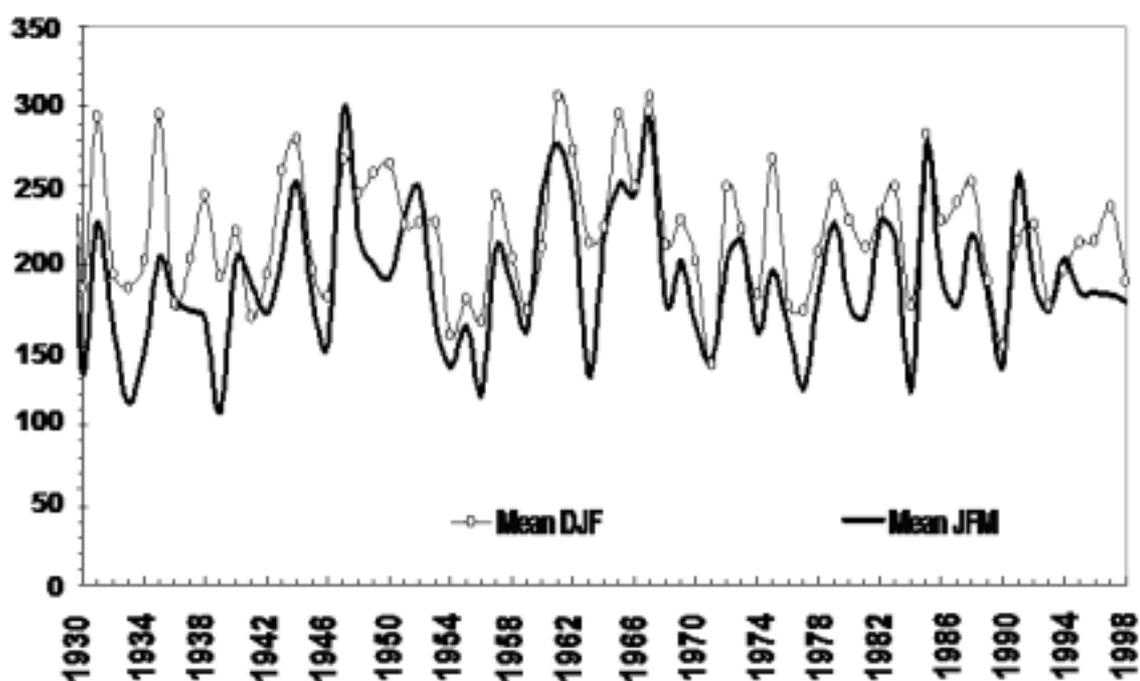


Figura 5 - Precipitação média integrada na bacia do Rio Paraíba do Sul nos meses de dezembro a fevereiro durante o período 1930-98 (Fonte: CRU)

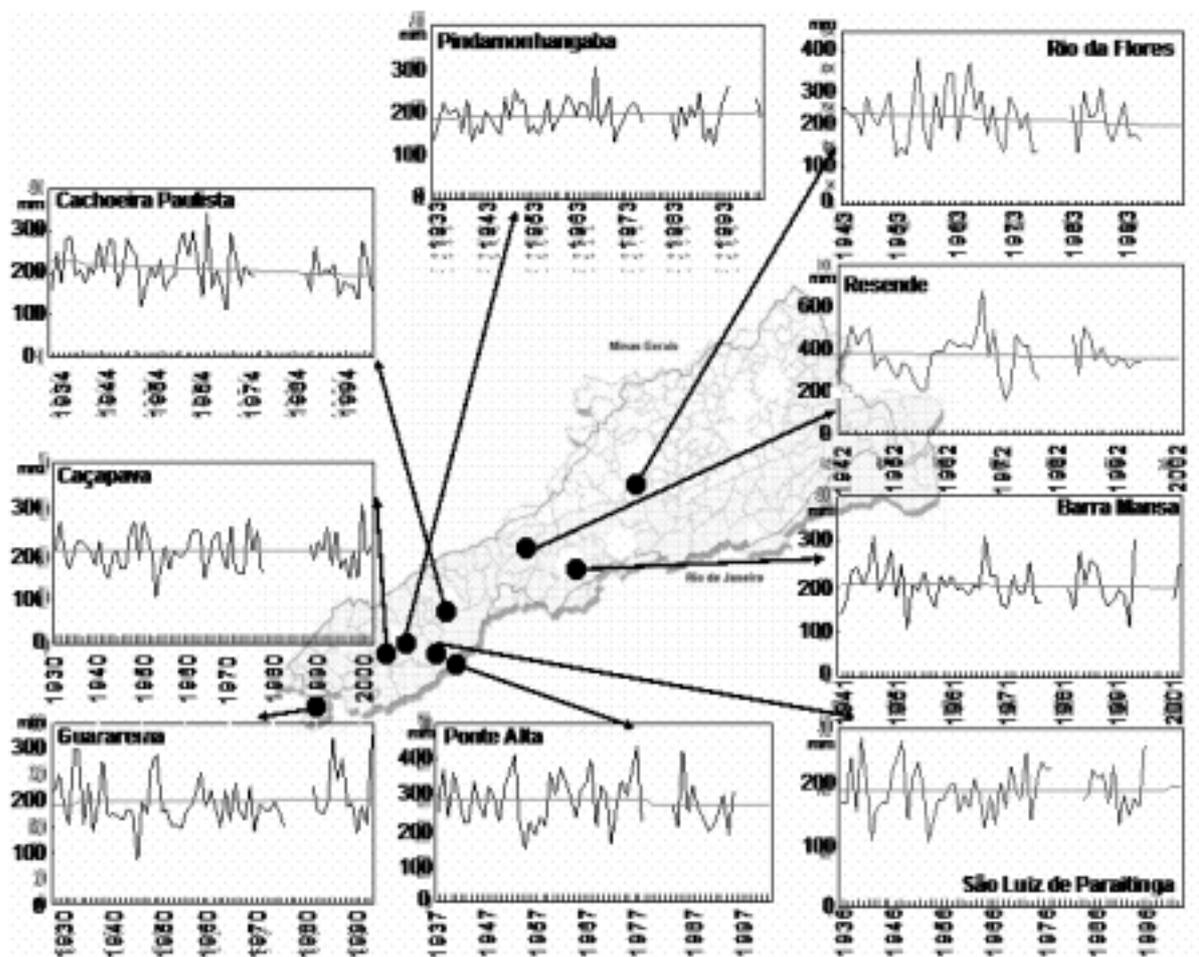


Figura 6 - Variabilidade de longo termo da chuva em alguns postos da bacia do Rio Paraíba de Sul durante os meses de dezembro a fevereiro, entre os anos de 1920 até 2000. A linha contínua em cada painel mostra a tendência linear das vazões no período observado.

O teste de Mann-Kendall tem sido aplicado para detectar tendências em séries de vazões/cotas e chuvas. Este teste assume que a correlação serial nos registros hidrometeorológicos é muito pequena. Entretanto, em algumas bacias, pode existir outros fatores que possa fazer esta afirmação não realista e então limitar a aplicabilidade deste teste. Em bacias de grande porte, como a bacia Amazônica, as séries podem apresentar grande correlação devido a grande capacidade de armazenamento da bacia que pode

aumentar a correlação serial. Isto foi observado especialmente na bacia sul da Amazônia, onde uma estação seca, excepcionalmente intensa, pode afetar a recuperação do volume armazenado na estação seca do ano seguinte e conseqüentemente afetar as vazões do rio (Hodnett et al., 1996; Marengo et al., 1998).

É importante considerar que tendências crescentes ou decrescentes nas vazões e/ou cotas de rios durante a estação chuvosa podem ser também explicadas por influências humanas. Um aumento na capacidade de armazenamento ou perdas devido à irrigação pode também explicar as tendências observadas, e pode também gerar uma correlação serial grande, de modo a afetar os resultados do teste de Mann-Kendall. Por outro lado, os registros de chuva geralmente apresentam baixa correlação serial, e não afetam os resultados do teste de Mann-Kendall. Desta forma, este teste pode ser aplicado nas séries de chuva para confirmar os resultados obtidos através da análise das tendências nas vazões e/ou cotas do Rio Paraíba do Sul.

Os resultados obtidos através da análise subjetiva das séries são confirmados quantitativamente pelos resultados da Tabela 4 que mostra uma análise das tendências nas séries de chuva em alguns postos pluviométricos na bacia. Ainda que a tabela apresente valores positivos ou negativos do parâmetro de Mann-Kendall (indicador da direção das tendências), estas tendências não apresentam significância estatística, confirmado os resultados da Figura 6. Neste sentido, a análise de tendência de chuvas em vários postos da bacia evidencia que as tendências negativas observadas nas vazões e/ou cotas (Tabela 3, Figura 5) na bacia podem ter causas de outra natureza além de variações sistemáticas na chuva na região.

Tabela 4. Postos pluviométricos usados para detectar tendências na bacia do Rio Paraíba do Sul durante o período de máximas precipitações (dezembro-fevereiro). A tabela mostra o período de registro, o parâmetro de Mann-Kendall indicando a direção da tendência e o nível de significância estatística: NS (sem significância estatística).

Posto	Registro (anos)	Parâmetro de Mann-Kendall	Tendência
Cachoeira Paulista	71	-0.061	NS
Caçapava	71	+0.045	NS
Guararema	71	+0.547	NS
Ponte Alta	64	+0.057	NS
São Luiz Paraitinga	63	+0.087	NS
Bocaina	63	-0.101	NS
Resende	53	-0.008	NS
Barra Mansa	62	-0.018	NS
Rio das Flores	53	-0.095	NS
Pindamonhangaba	61	0.093	NS

Coefficientes de autocorrelação foram calculados para as series de vazão/cotas em alguns postos fluviométricos no Rio Paraíba do Sul (Figura 7). As séries de Cachoeira Paulista e Paraíba do Sul mostram que o coeficiente de autocorrelação entre dois anos consecutivos é baixo, sugerindo uma baixa correlação serial e garantindo que o teste de Mann-Kendall é adequado para a análise nestas duas series. As vazões em Campos, Resende, Guaratinguetá e Pindamonhangaba mostram tendências negativas significativas aos níveis de 5% e 1%, e segundo a Figura 7, também mostra a autocorrelação entre dois anos consecutivos é grande, podendo isto sugerir importantes efeitos na operação do sistema ou no armazenamento de um ano para outro e gerar tendências negativas que não

são naturais. Assim, estas tendências nas vazões não são consistentes com a ausência de tendências significativas chuva da bacia. O teste de Mann-Kendall aplicado a registros pluviométricos e fluviométricos em outros postos da bacia (não apresentados) confirmam as tendências e resultados apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Deve-se considerar que a função de autocorrelação se aplica a processos estocásticos estacionários. Se a série de tempo mostra uma tendência significativa, pode-se afirmar que a série não é mais estacionária. Porém, neste estudo usamos a função de autocorrelação para confirmar as afirmações teóricas do teste de Mann-Kendall, e não discutimos ou concluímos nada sobre o comportamento do processo estocástico.

Figura 7

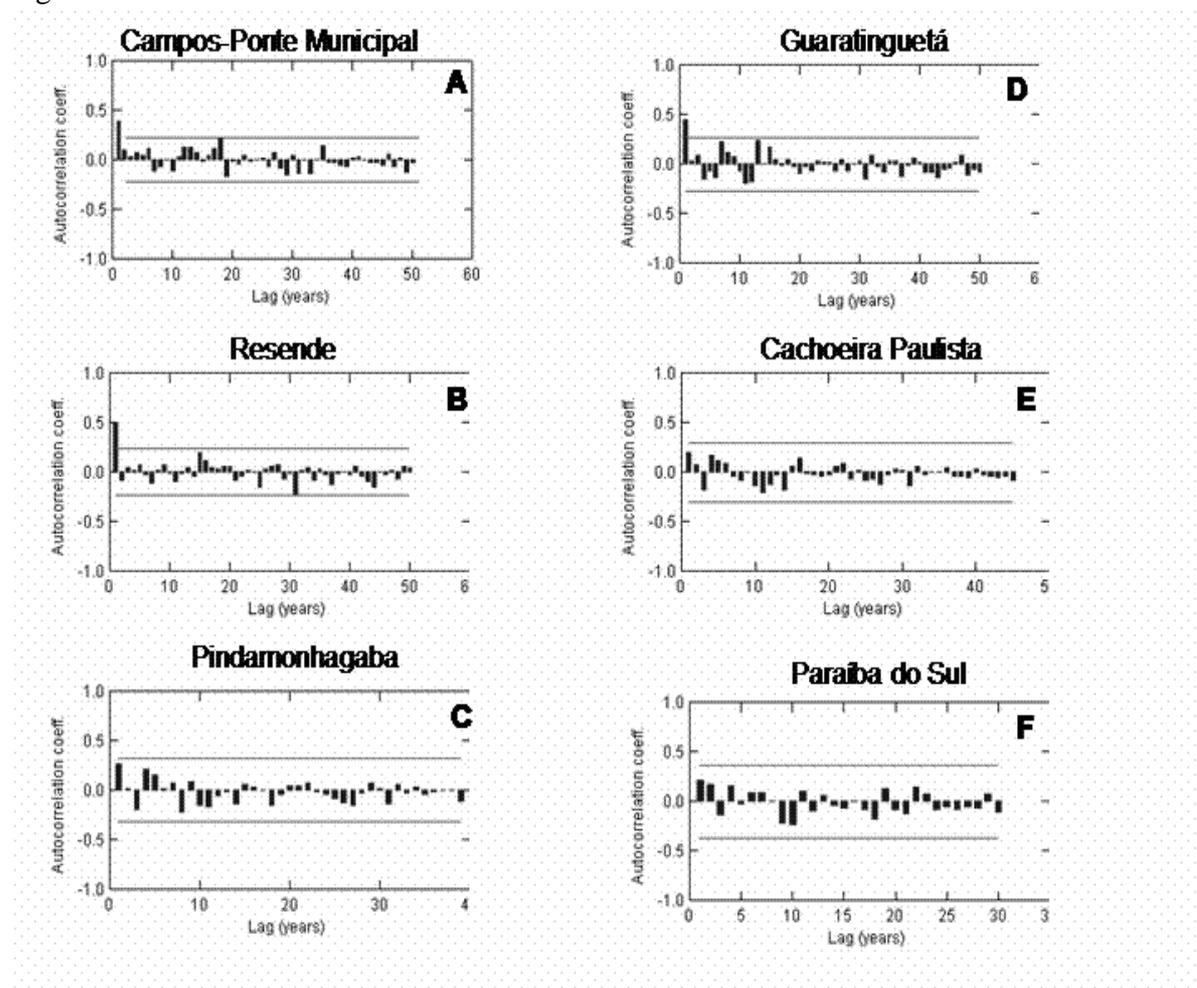


Figura 7 - *Correlogramas da série temporal de vazão/cotas durante o período de máxima vazão em: (a) Campos-Ponte Municipal, (b) Resende, (c) Pindamonhangaba, (d) Guaratinguetá, (e) Cachoeira Paulista, (f) Paraíba do Sul. As linhas em vermelho representam os limites de confiança a 95% para a hipótese de não ter correlação serial.*

5. CONCLUSÕES

Registros hidrometeorológicos da bacia do Rio Paraíba do Sul desde a década de 1920 foram analisados com a finalidade de detectar e explicar as tendências observadas nas vazões e/ou cotas, e associá-las a causas naturais ou efeitos antropogênicos. Em escalas de tempo interanual observa-se períodos de vazões extremas em anos que podem ser caracterizados como extremos, a exemplo de 1955 (ano seco) e 1967-68 (anos chuvosos). Esta variabilidade não parece associada diretamente ao impacto de fenômeno El Niño, a exemplo dos rios da Região Norte ou Sul do país.

A principal conclusão do estudo é que as vazões do Rio Paraíba do Sul observada em postos fluviométricos de SP e RJ mostram uma tendência negativa durante os últimos 50 anos, o que não se observa em longo prazo tendência significativa nas séries de chuva no mesmo períodos em postos pluviométricos localizados na bacia que podem explicar estas tendência negativas nas vazões e cotas do Paraíba do Sul. Uma análise de tendências e testes de autocorrelação mostram uma correlação serial alta entre dois anos consecutivos em vários postos fluviométricos, podendo isto sugerir importantes efeitos na operação do sistema ou no armazenamento de um ano para outro e gerar tendências negativas que não são naturais. Desta forma, as tendências negativas nas vazões sugere um possível impacto da influencia humana (na forma de gerenciamento dos recursos hídricos, a geração de energia, os esgotos lançados no rio, a irrigação e o crescimento

populacional) como possíveis causas para estas tendências e não a uma mudança climática do regime de chuva na bacia.

É muito difícil de distinguir tendências climáticas induzidas por fatores naturais daquelas devido à ação humana. Porém, os resultados deste estudo apontam para fatores não-climáticos (uma possível ação antropogênica de regulação e uso intensivo de água) como causa das tendências hidrológicas negativas observadas nos postos fluviométricos da bacia desde 1920-30.

Nos últimos anos (2000-2003) a chuva foi abaixo da média histórica nas cabeceiras do Paraíba do Sul, com os menores valores durante a estação de 2001, entretanto, este período relativamente menos chuvoso parece ser parte de uma variabilidade interdecadal, com períodos de anos relativamente secos e úmidos sucessivos.

O teste de Mann-Kendall não parece adequado para regiões com uso intensivo da água e não se deve aplicar exclusivamente as séries de vazões/cotas mais também para séries de chuvas na bacia. Se a hipótese nula de Mann-Kendall é rejeitada se tem duas possíveis interpretações: (1) Existe tendência, (2) A hipótese nula não tem, validade pois a afirmação de que não existe correlação serial não é observada. Em caso da existência de uma autocorrelação alta entre as séries como nas vazões do Paraíba do Sul, parece incorreto assumir (1). Assim, uma análise de tendência aplicado nas séries de chuva na bacia foi feita para confirmar ou não a presença de tendências reais nas séries de vazões/cotas. Ainda assim, é difícil explicar tendências de chuvas e vazões devido à mudança climática regional.

Uma limitação deste estudo é que as séries de vazão e chuva não foram suficientemente longas para detectar algum sinal climática acima do ruído ou “*background noise*” da variação interna do clima. Ainda que as séries de vazões apresentem limitações para identificar mudanças climáticas como aquelas já mencionadas na Seção 4, elas são apropriadas pois representam uma importante integração das mudanças do clima regional e da ação antropogênica.

Agradecimentos.

Este estudo foi financiado pelo projeto do Inter American Institute for Global Change (IAI) CRN 055 PROSUR, e pelo CNPq.

REFERÊNCIAS

Agencia Nacional de Águas, 2003: Projeto Paraíba do Sul (on line: <http://pbs.ana.gov.br>)

Amorim, D. D., Ferreira, M. E. 2000: Um estudo sobre a qualidade dá águas do Rio Paraíba do Sul no Vale do Paraíba do Sul no período de 1978 a 1994. Resumos do *XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos* (disponível em CD), Belo Horizonte, MG. 2000.

Cavalcanti, I. F. A., Kousky, V. 2001: Drought in Brazil during summer and fall 2001 and associated atmospheric circulations. *Climanalise*, (on line: <http://www3.cptec.inpe.br/products/climanalise/artigos/artcien2.shtml>)

CBH/PS 2002: Comitê das Bacias Hidrográficas Rio Paraíba do Sul/SP. Estado de São Paulo. Taubaté, SP. 4 pp.

Chiew, F., and T. McMahon, 1993: Detection of trend or change in annual flow of Australian rivers. *Int. J. Climatol.*, 13, 643-653.

Dias de Paiva, E. M. C, and R. T. Clarke, 1995: Time trends in rainfall records in Amazônia. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 75, 579-583.

Hodnett, M., M. Oyama, J. Tomasella, A. Marques Filho, 1996: Comparisons of long-term soil water storage behaviour under pasture and forest in three areas of Amazonia. In *Amazonian Deforestation and Climate*, Eds. J. Gash, C. Nobre, J. Roberts, and R. Victoria. pp. 57-78.

IPCC 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2001, 944 pp

Lettenmaier, D., E. Wood, and J. Wallis, 1994: Hydro-climatological trends in the continental United States, 1948-88, *J. Climate*. 7, 586-607.

Marengo, J., 1992: Interannual variability of surface climate in the Amazon basin, *Int. J. Climatol.*, 12, 853-863.

Marengo, J., 1995: Variations and change in South American streamflow. *Clim. Change*, 31, 99-117.

Marengo, J., Tomasella, J., Uvo, CRB, 1998: Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil and northwestern Peru. *J. Geophys. Res.*, 103, 1775-1783.

Marengo, J., Muniz, L., Castro, C. A. C, Mendes, D, 2001: Início da estação chuvosa nas Regiões Sudeste, Centro-Oeste e sul do Nordeste do Brasil, afetadas pela crise de energia, CPTEC/INPE, (on line: <http://www.cptec.inpe.br/energia/saiba/iniciochuvas.shtml>)

New, M, Hulme M, Jones P 2000: Representing Twentieth-Century Space–Time Climate Variability. Part II: Development of 1901–96 Monthly Grids of Terrestrial Surface Climate, *J Climate* 13: 2217–2238

Press, W., B. Flannery, S. Teukolsky, and W. Vetterling, W., 1989: *Numerical Recipes. The arts of Scientific Computing. (Fortran version)*. Cambridge University Press. New York. 702 pp.

Richey, J., C. Nobre, and C. Deser, 1989: Amazon river discharge and climate variability: 1903 to 1985, *Science*, 246, 101-103.