

ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS DE VAZÃO E PRECIPITAÇÃO EM ALGUMAS BACIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO COM DIFERENTES GRAUS DE INTERVENÇÕES ANTRÓPICAS

Juliano Daniel GROppo ¹, Jorge Marcos de MORAES ^{1, 2},
Carlos Eduardo Beduschi ^{1, 2}, Luiz Antonio MARTINELLI ¹

(1) Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Escola superior de Agricultura, Universidade de São Paulo. Avenida Centenário, 303. CEP 13400-970. Piracicaba, SP. Endereços eletrônicos: jgropo@cena.usp.br; jmmoraes@cena.usp.br; beduschi@cena.usp.br; zebu@cena.usp.br. (2) Escola de Engenharia de Piracicaba, Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba (FUMEP). Avenida Martinho Salgot, 560 – Vila Areião. CEP 13414-040. Piracicaba, SP.

Introdução
Objetivos
Materiais e Métodos
 Dados e Caracterização Sucinta das Áreas e Estudo
 Metodologia no Tratamento de Dados e Análise Exploratórias
Resultados e Discussão
 Caracterização de Períodos Secos e Úmidos
 Análise Exploratória dos Dados de Vazão e Precipitação
Conclusões
Agradecimentos
Referências Bibliográficas

RESUMO – Para uma melhor compreensão do comportamento hidrológico e suas interações com as atividades antrópicas, foram analisadas séries temporais de vazão e de precipitação de algumas bacias com diferentes graus de impacto no Estado de São Paulo. Os principais objetivos foram definir os períodos secos e úmidos e realizar um estudo exploratório através da análise de tendências e mudanças bruscas na média desses parâmetros. Esse diagnóstico hidrológico serve como referência para estudos ambientais e biogeoquímicos dentro do projeto BIOTA SP (FAPESP), que vem sendo realizado nas mesmas bacias. A análise estatística foi realizada com os dados anuais, no período de 1947 a 1997 ou 1970 a 1997, dependendo das séries disponíveis para cada bacia. Os resultados mostram que na maioria das bacias do projeto existe uma tendência positiva da precipitação quando a série considerada é de 1947 a 1997. Nesse período, a vazão acompanha a tendência positiva da precipitação nas bacias não impactadas; entretanto, tendências negativas foram observadas em alguns rios mais impactados.

Palavras-chave: Hidrologia, análise de tendência, séries temporais.

ABSTRACT – J.D. GROppo, J.M. de MORAES, C.E. BEDUSCHI, L.A. MARTINELLI – *Analysis of time series of flow and precipitation in some basins of the São Paulo State with different degrees of human impact.* Aiming a better understanding of hydrological behavior and its interactions with anthropogenic activities, time series analysis of flow and precipitation were carried out in some basins with different degrees of human impact in the State of São Paulo. The main goals of this project were to define dry and wet periods and perform an exploratory study through the analysis of trends and abrupt changes in the average of those parameters. This hydrological diagnosis is useful as a reference for environmental and biogeochemistry studies being realized within the Biota SP Project (FAPESP), that it has been accomplished in the same basins. The statistical analysis was performed with annual data from 1947 to 1997 or from 1970 to 1997, depending on the data availability for each basin. The results show that in most basins of the project a positive trend in the precipitation exists when the considered time series is from 1947 to 1997. In this period, the flow follows the positive trend of the precipitation in the non-impacted basins, meanwhile negative trends were observed in some more impacted rivers.

Keywords: Hydrology, trend analyses, times series.

INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional e das atividades agro-industriais nas últimas décadas no Estado de São Paulo vem acarretando o aumento do consumo de água urbana, industrial e agrícola, e uma sensível deterioração da qualidade desse recurso natural (Moraes et al., 1997; Pellegrino et al., 2001; Martinelli et al., 2003). Esse quadro ocorre em diversas bacias hidrográficas de grande interesse no cenário estadual, fazendo com que o estudo de bacias com diferentes

graus de intervenção do homem no seu funcionamento natural seja de grande importância para a compreensão dos possíveis agentes impactantes, assim como para a obtenção de informações qualitativas e quantitativas para uma melhor gestão dos recursos hídricos.

Uma série de estudos sobre o funcionamento de bacias hidrográficas com diferentes graus de intervenções antrópicas vem sendo desenvolvidos dentro do projeto BIOTA SP, englobando as bacias dos rios

São José dos Dourados, Turvo Grande, Alto do Paranapanema, Aguapeí e Peixe, distribuídas dentro do Estado de São Paulo, como mostra a Figura 1. Esse projeto tem como meta conhecer a estrutura e o funcionamento de bacias hidrográficas de médio (1.000 a 50.000 km²) e pequeno porte (<1.000 km²), visando compreender os processos geradores, mantenedores e impactantes da biodiversidade. Adicionalmente, julgou-se conveniente incluir as bacias dos rios Piracicaba e Mogi-Guaçu nos estudos de comparação entre bacias hidrográficas do Estado de São Paulo, já que os mesmos tiveram os estudos iniciados no Projeto PiraCena (Martinelli et al., 2002).

A motivação do presente trabalho foi, portanto, o de realizar um diagnóstico sobre as possíveis mudanças no meio físico, no caso sobre a vazão e precipitação dos rios das bacias supracitadas. Dentro desse contexto, o comportamento desses parâmetros ao longo dos anos

passa a ser um dos passos iniciais para a detecção de possíveis intervenções antrópicas no funcionamento natural dos corpos d'água (Moraes et al., 1997; Groppo et al., 2001).

Nesse sentido, o propósito principal desse trabalho foi o de sistematizar informações hidrológicas básicas das bacias de estudo e montar um banco de dados com a caracterização em termos de comportamento médio, definição dos períodos secos e úmidos e a realização de um estudo estatístico das séries temporais de vazão e precipitação no intuito de procurar indícios de tendências e mudanças bruscas nas médias. Esse último é utilizado como estudo exploratório na localização de eventuais mudanças de origem natural ou antrópica. Os períodos estudados foram entre 1947 e 1997 nas bacias em que as séries eram disponíveis e entre 1970 e 1997 nas bacias com monitoramento mais recente.



FIGURA 1. Mapa do Estado de São Paulo, com os postos fluviométricos analisados.

OBJETIVOS

- Os principais objetivos do presente trabalho são:
- caracterização hidrológica e ambiental das bacias de estudo;
- análises preliminares de parâmetros hidrome-

teorológicos, incluindo a definição de épocas secas e úmidas nas bacias de estudo e a análise de séries temporais para avaliar tendência e mudanças bruscas nas médias.

MATERIAIS E MÉTODOS

DADOS E CARACTERIZAÇÃO SUCINTA DAS ÁREAS DE ESTUDO

Trabalhou-se com dados de vazão e precipitação das bacias dos rios Piracicaba, Mogi-Guaçu, São José dos Dourados, Turvo Grande, Alto do Paranapanema, Aguapeí e Peixe (Figura 1). Os dados foram obtidos do órgão gestor dos recursos hídricos do Estado de São

Paulo, o Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE), e a relação dos postos de precipitação e vazão são apresentados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente. A caracterização ambiental sucinta dessas bacias é apresentada no Quadro 1, através de parâmetros passíveis de influenciar na qualidade e quantidade de água.

TABELA 1. Relação dos postos de precipitação.

Postos	Latitude	Longitude	Bacia	Município
E5-015	23°35'	48°03'	Alto Paranapanema	Itapetininga
E5-046	23°55'	48°42'	Alto Paranapanema	Taquarivaí
D6-025	22°12'	49°56'	Peixe	Marília
C7-006	21°44'	50°07'	Aguapeí	Getulina
C7-045	21°44'	50°42'	Aguapeí	Rinópolis
C7-075	21°37'	50°54'	Aguapeí	Salmorão
B6-048	20°37'	49°57'	S. José dos Dourados	Sebastianópolis do Sul
B6-032	20°30'	49°57'	S. José dos Dourados	Votuporanga
B7-011	20°26'	50°03'	S. José dos Dourados	Valentim Gentil
C5-043	21°01'	48°46'	Turvo Grande	Monte Azul Paulista
D4-061	22°41'	47°46'	Piracicaba	Artemis
D4-012	22°25'	47°33'	Piracicaba	Rio Claro
D4-036	22°18'	47°45'	Piracicaba	Itirapina
D4-043	22°13'	47°37'	Piracicaba	Corumbataí
D4-059	22°29'	47°31'	Piracicaba	Santa Gertrudes
D4-060	22°41'	47°46'	Piracicaba	São Pedro
D4-061	22°39'	47°47'	Piracicaba	Artemis
D3-009	22°30'	46°57'	Piracicaba	Mogi-Mirim
D3-018	22°53'	46°25'	Piracicaba	Vargem
D3-027	22°42'	46°39'	Piracicaba	Monte Alegre do Sul
D3-052	22°44'	46°56'	Piracicaba	Pedreira
D4-044	22°53'	47°04'	Piracicaba	Campinas
D4-052	22°39'	47°13'	Piracicaba	Cosmópolis
E3-099	23°10'	46°24'	Piracicaba	Nazaré Paulista

TABELA 2. Relação dos postos de vazão.

Postos	Latitude	Longitude	Bacia	Rio
5E-001	23°55'	48°39'	Alto do Paranapanema	Apiáí-Guaçu
5E-002	23°57'	48°56'	Alto do Paranapanema	Taquari
5E-003	23°56'	48°12'	Alto do Paranapanema	Paranapanema
5E-006	23°37'	48°06'	Alto do Paranapanema	Itapetininga
7D-010	22°18'	50°01'	Peixe	Peixe
7C-002	21°72'	50°17'	Aguapeí	Aguapeí
7C-011	21°39'	50°38'	Aguapeí	Aguapeí
8C-004	21°25'	51°00'	Aguapeí	Aguapeí
7B-006	20°32'	50°00'	S.J. dos Dourados	S.J. dos Dourados
5B-010	20°59'	48°42'	Turvo Grande	Turvo
3D-001	22°40'	46°58'	Piracicaba	Camanducaia
3D-002	22°41'	46°40'	Piracicaba	Camanducaia
3D-003	22°46'	46°59'	Piracicaba	Atibaia
3D-006	22°58'	46°49'	Piracicaba	Atibaia
3D-009	22°51'	46°46'	Piracicaba	Jaguari
4D-007	22°40'	47°46'	Piracicaba	Piracicaba
4D-009	22°49'	47°07'	Piracicaba	Atibaia
CESP	22°41'	47°40'	Piracicaba	Piracicaba

QUADRO 1. Parâmetros agrupados por bacias hidrográficas abordadas nesse estudo. Dados de descarga foram obtidos junto à base de dados do DAEE (<http://www.dae.sp.gov.br>) e são valores médios referentes as séries históricas de cada ponto de medida. IQA é o índice de qualidade de água para o ano 2000 estimado pela CETESB (<http://www.cetesb.sp.gov.br>) e representa a média das coletas feitas pela CETESB nos meses de fevereiro, abril, junho, agosto, outubro e dezembro. COD refere-se à carga de carbono orgânico dissolvido e foi obtida por Martinelli (dados não publicados) pelo produto da descarga média pela concentração média de COD, nos mesmos pontos em que foram medidas as descargas durante o ano de 2001 (coletas mensais).

	Piracicaba	Mogi	Turvo	Peixe	Aguapeí	S.J. Dourados	Itapetininga	Apiáí	Taquari	Parapanema	ESP
Número de habitantes	3.406.561	1.283.114	869.857	791.262	587.425	206.056	179.568	145.731	111.224	77.427	36.909.200
População urbana	3.222.223	1.167.129	796.511	725.402	523.471	175.856	146.873	93.216	73.685	54.468	34.472.706
Taxa de urbanização	95	91	92	92	89	85	82	64	66	70	93
Área (km ²)	11.538	13.314	11.497	12.976	12.235	5.785	3.384	4.424	2.943	2.551	248.600
Densidade demográfica (hab/km ²)	341	96	84	110	74	61	58	34	38	31	148
Percentagem de esgoto tratado (%)	12	20	18	29	36	63	86	22	11	97	17
Cobertura da rede sanitária (%)	84	96	93	80	84	80	81	75	53	80	80
Volume de esgoto gerado (m ³ /dia)	384.818	200.681	145.860	72.760	53.335	25.315	21.473	12.635	10.621	7.878	4.979.884
Volume de esgoto tratado (m ³ /dia)	37.825	32.070	20.817	16.780	15.392	12.797	14.838	2.174	974	5.994	835.538
Carga poluidora domiciliar potencial (kgDBO/dia)	134.493	60.204	40.108	21.828	15.555	7.595	6.442	3.790	3.186	2.363	1.493.965
Carga poluidora domiciliar remanescente (kgDBO/dia)	121.947	50.584	34.563	16.794	10.937	3.756	1.991	3.138	2.894	565	1.243.304
Participação em relação ao Estado (%)	9,8	4,1	2,8	1,4	0,9	0,3	0,2	0,3	0,2	0,05	100,0
Carga equivalente remanescente de carbono (kgC/dia)	49.023	20.335	13.824	6.751	4.397	1.510	800	1.262	1.163	227	366.796
Carga equivalente remanescente de N (kgN/dia)	21.957	8.066	6.019	3.989	2.884	468	147	498	472	11	152.766
Descarga média no ponto mais a jusante da bacia (m ³ /s)	142.00	266.00	99.92	75.76	87.12	30.75	20.15	13.09	10.30	20.20	
Carga de COD no ponto mais a jusante da bacia (kgC/dia)	88.425	75.449	30.548	31.598	36.246	9.782	7.629	4.067	3.375	11.806	
IQA no ponto mais a jusante da bacia	40	62	66	59	68	67			53	78	

METODOLOGIA NO TRATAMENTO DE DADOS E ANÁLISES EXPLORATÓRIAS

A correção e análise de consistência dos dados de vazão e precipitação foram realizadas em todas as bacias de estudo seguindo a metodologia proposta por Tucci et al. (1993) e Dunne & Leopold (1978), explicada resumidamente abaixo. Os trabalhos de preenchimento de falhas na precipitação de uma estação, foram realizados através do método de médias ponderadas, levando-se em conta os dados de estações vizinhas e suas normais. A vazão foi inicialmente avaliada através da comparação dos dados diários entre estações em um mesmo rio na verificação de erros grosseiros. Esses foram corrigidos através de regressões lineares entre diferentes postos de um mesmo rio. A análise da consistência de todas as séries foram realizadas pelo método da dupla-massa.

Os meses úmidos e secos foram definidos como

aqueles com valores mensais acima e abaixo da média, respectivamente, calculadas para a série total disponível.

Para a análise estatística das séries temporais de vazão e precipitação a metodologia consistiu nos seguintes passos:

1. verificação da independência da série temporal através do teste de autocorrelação serial. Esse teste é necessário antes da aplicação de alguns testes estatísticos, já que, sem o mesmo, tendências inexistentes podem ser detectadas (Clarke & Brusa, 1997; Marengo & Tomasella, 1996). Com tal finalidade foi utilizado o *software* MHTS (*Mcleod-Hipel Time Series Package*, Mcleod & Hipel, 1995);
2. estudo exploratório: versão sequencial do teste de tendência de Mann-Kendall e teste de mudanças bruscas nas médias de Pettitt (Sneyers, 1975; Goossens & Berger, 1986; Demarée, 1990; Moraes et al., 1995).

O teste seqüencial de Mann-Kendall, proposto inicialmente por Sneyers (1975), é um teste estatístico não paramétrico, no qual, na hipótese da estabilidade de uma série temporal, os valores devem ser independentes e a distribuição de probabilidades deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples).

Considerando uma dada série temporal Y_i de N termos ($1 \leq i \leq N$) a ser analisada, este teste consiste na soma $t_n = \sum_{i=1}^N m_i$ do número de termos m_i da série, relativo ao valor Y_i , cujos termos precedentes ($j < i$) são inferiores ao mesmo ($Y_j < Y_i$). Para N grande, sob hipótese nula H_0 de ausência de tendência, t_n apresentará uma distribuição normal com média e variância:

$$E(t_n) = N(N-1)/4 \text{ e } \text{Var}(t_n) = N(N-1)(2N+5)/72.$$

Testando a significância estatística de t_n para a hipótese nula usando um teste bilateral, esta pode ser rejeitada para grandes valores da estatística $u(t_n)$ através de:

$$u(t_n) = (t_n - E(t_n)) / (\text{var}(t_n))^{1/2} \quad (1)$$

O valor da probabilidade α_1 é calculada por meio de uma tabela da normal reduzida, tal que:

$$\alpha_1 = \text{prob}(|u| > |u(t_n)|),$$

sendo α_0 o nível de significância do teste ($\alpha_0 = 0,05$ e $0,1$ para significativo e levemente significativo respectivamente), a hipótese nula é aceita se $\alpha_1 > \alpha_0$. Caso a hipótese nula seja rejeitada, significará a existência de tendência significativa, sendo que o sinal da estatística $u(t_n)$ indica se a tendência é positiva ($u(t_n) > 0$) ou negativa ($u(t_n) < 0$).

Em sua versão seqüencial, a equação (1), é calculada no sentido direto da série, partindo do valor

de $i = 1$ até $i = N$, gerando a estatística $u(t_n)$ e no sentido inverso da série, partindo do valor de $i = N$ até $i = 1$, gerando a estatística $u^*(t_n)$. A interseção das duas curvas geradas, representa o ponto aproximado de mudança de tendência, se este ocorre dentro do intervalo de confiança $1,96 < u(t_n) < 1,96$ ($1,96$ correspondendo $\alpha_0 = 0,05$).

Nesse teste, uma tendência é constatada quando a curva $u(t_n)$, que é o teste aplicado no sentido direto da série temporal, cruza o limites de confiança de 90% e 95%, representado pelas linhas horizontais pontilhadas e contínuas respectivamente. O teste aplicado no sentido inverso da série, representado pela linha $u^*(t_n)$, serve também para detectar uma ruptura na série quando esta cruza a linha $u(t_n)$ dentro do intervalo de confiança (Gossens & Berger, 1986).

O teste de Pettitt (Pettitt, 1979), também não paramétrico, utiliza uma versão do teste de Mann-Whitney, no qual se verifica se duas amostras Y_1, \dots, Y_t e Y_{t+1}, \dots, Y_T são da mesma população. A estatística $U_{t,T}$ faz uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que um membro da segunda, e pode ser escrita:

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(Y_t - Y_j) \quad (2),$$

para $t = 2, \dots, T$, onde: $\text{sgn}(x) = 1$ para $x > 0$; $\text{sgn}(x) = 0$ para $x = 0$; $\text{sgn}(x) = -1$ para $x < 0$.

A estatística $U_{t,T}$ é então calculada para os valores de $1 \leq t \leq T$ e a estatística $k(t)$ do teste de Pettitt é o máximo valor absoluto de $U_{t,T}$. Esta estatística localiza o ponto onde houve uma ruptura (*changing point*) de uma série temporal e a sua significância pode ser calculada aproximadamente pela equação:

$$p \cong 2 \exp \{-6k(t)^2 / (T^3 + T^2)\} \quad (3)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

CARACTERIZAÇÃO DE PERÍODOS SECOS E ÚMIDOS

Os comportamentos médios das bacias podem ser observados na Figura 2. Esses dados servem como orientação para escolha das coletas de dados biogeoquímicos e na interpretação dos dados, devido ao regime hidrológico.

Foram escolhidos os períodos com máximo registro simultâneo de precipitação e vazão dentro da mesma bacia. As figuras mostram que a precipitação fica abaixo da média a partir da metade do mês de março para todas as bacias até a metade do mês de setembro, e acima nos meses restantes. A vazão tem sempre um atraso no início da seca de aproximadamente 15 dias com relação à precipitação. Já no início das chuvas a

recarga do lençol freático faz com que haja um atraso maior para que a vazão ultrapasse a média e varia de 15 dias a 2 meses.

ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS DE VAZÃO E PRECIPITAÇÃO

Os testes de independência das séries temporais não mostraram correlação serial e, portanto, os testes estatísticos puderam ser aplicados sem problemas. É importante ressaltar que as tendências e mudanças bruscas nas médias das séries utilizadas são relativas ao período em que as análises foram realizadas. A dificuldade principal dessa análise é a defasagem dos períodos de estudo, já que a maioria das séries possui dados apenas no período 1970-1997.

A análise exploratória dos dados de precipitação e vazão são sumarizados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. Os gráficos dos valores normalizados acompanhado da média móvel de 5 termos e os testes de Mann-Kendall para a vazão e precipitação são apresentados entre as Figuras 3 e 5. Os resultados foram analisados por bacia hidrográfica.

Piracicaba

Nessa bacia no período 1947-1997 foi observada uma tendência positiva na precipitação em praticamente todos os postos de medida (exemplo da estação D4-060, Figura 3B). É difícil creditar o aumento da precipitação à causas de origem antrópica, já que depende de fenômenos que não podem ser atribuídos somente à mudanças locais.

A vazão dos rios Atibaia, Jaguari e Piracicaba nesse período apresentaram tendências negativas, contrariamente às vazão do Rio Camanduaia que apresentou tendência positiva mas não significativa. A comparação do comportamento dos rios Camanduaia e Jaguari, sob regime de precipitação similar, é apresen-

tado nas Figuras 3D e 3F. Pode-se observar nessas figuras que no Rio Camanduaia, sem a influência do Sistema Cantareira, as vazões tendem a acompanhar a tendência positiva da precipitação, ao passo que no Jaguari, cujo regime mudou abruptamente devido às operações do sistema citado, a tendência é negativa e estatisticamente significativa. Nesse rio o teste de Pettitt também acusou a existência de uma mudança brusca na média em 1983.

Cabe lembrar que o Sistema Cantareira começou a interferir no funcionamento desse rio em 1981 (Moraes et al., 1997). A retirada de 31 m³/s de água dos formadores do Rio Piracicaba para o abastecimento da grande São Paulo é a mais provável causa da tendência negativa na vazão em todos os rios estudados nessa bacia.

Esses resultados concordam com as observações precedentes de vários autores (Moraes et al., 1997; Groppo et al., 2001), mostrando ser este rio um dos mais impactados do Estado de São Paulo.

No período 1970-1997 as tendências foram similares às observadas no período mais longo (1947-1997); entretanto, a maioria delas é não significativa.

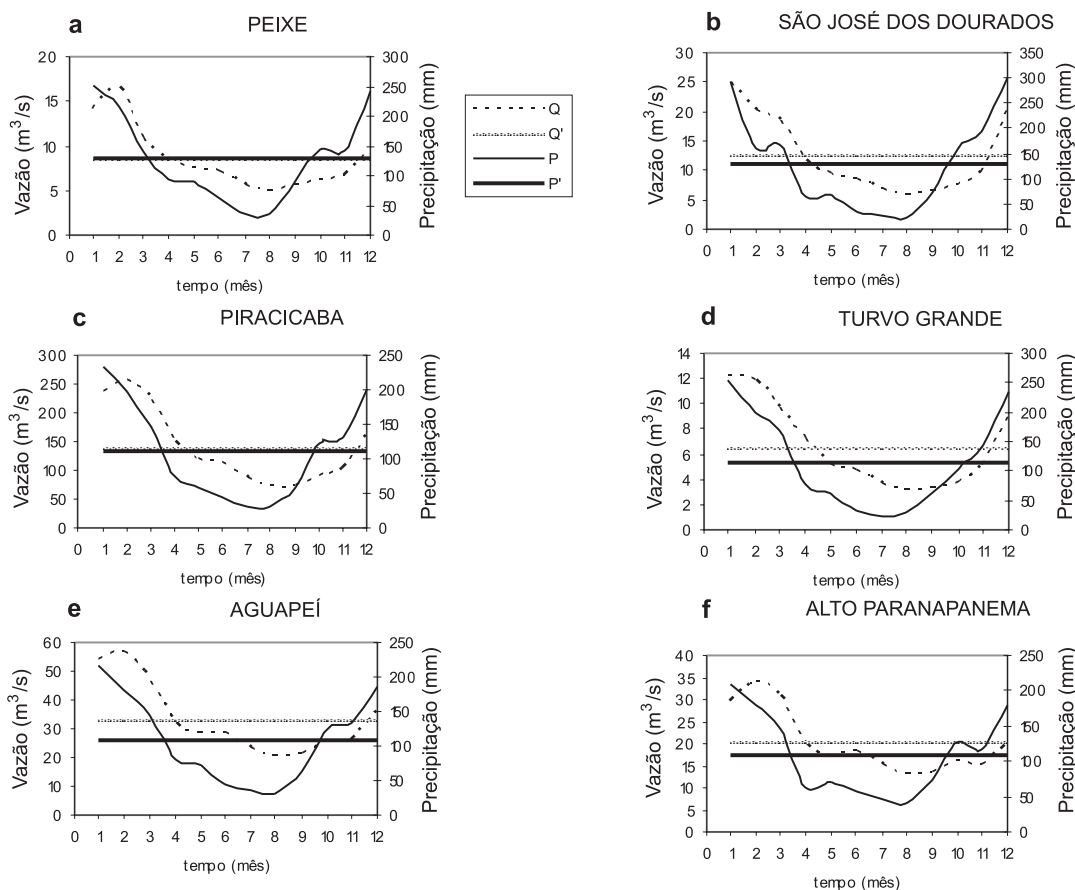


FIGURA 2. Valores médios mensais de longo período da vazão e precipitação das bacias do projeto BIOTA SP. Linhas representam a precipitação (P) e linhas pontilhadas a vazão (Q). Os valores médios (P' e Q') são representados pelas mesmas linhas. (a) Peixe: D6-025; 7D-010, período (1967-1997); (b) São José dos Dourados: B6-032; 7B-032, período (1971-1982); (c) Piracicaba: D4-061; 4D-007, período (1944-1997); (d) Turvo Grande: C5-043; 5B-010, período (1972-1997); (e) Aguapeí: C7-045; 7C-002, período (1947-1997); (f) Alto Paranapanema: E5-015; 5E-006, período (1948-1997).

TABELA 3. Sumário das análises estatísticas da precipitação **.

** T++ e T+: tendência positiva, com níveis de significância $\alpha = 0,05$ e $0,1$, respectivamente, seguido do ano em que esta tornou-se significativa. T— e T-: tendência negativa, com níveis de significância $\alpha = 0,05$ e $0,1$, respectivamente, seguido do ano em que esta tornou-se significativa. Mudança Brusca CP = ano de ocorrência. ns = não significativo. SL = nível de significância do teste de Pettitt.

Precipitação	Período: 1947- 1997		Período: 1970- 1997	
	Mann-Kendall	Pettitt	Mann-Kendall	Pettitt
E5-015 Alto Paranapanema	-	-	período seco de 1980-1984 e 1989-1993	CP ns SL ns
E5-046 Alto Paranapanema	T++ 1972 CP 1969	CP 1964 SL < 0,05	T ns CP ns	CP ns SL ns
D6-025 Peixe	-	-	T++ 1992 CP 1987	CP 1986 SL 0,02159
C7-006 Aguapeí	T++ 1956 CP 1952	CP 1963 SL 0,01596	T- ns CP ns	CP ns SL ns
C7-045 Aguapeí	T+ ns CP ns	CP ns SL ns	T ns CP ns	CP ns SL ns
C7-075 Aguapeí	-	-	período seco de 1980-1982 e 1984-1987	CP ns SL ns
B6-048 S. J. dos Dourados	-	-	T ns CP ns	CP ns SL ns
B6-032 S. J. dos Dourados	-	-	T ns CP 1997	CP ns SL ns
B7-011 S. J. dos Dourados	-	-	T- ns CP ns	CP ns SL ns
C5-043 Turvo Grande	-	-	T ns CP ns	CP ns SL ns
D4-061 Piracicaba	T- 1992 CP ns	CP 1967 SL 0,05874	T ns CP ns	CP ns SL ns
D4-012 Piracicaba	T++ 1994 CP 1989	CP 1975 SL 0,046	T++ 1996 CP ns	CP ns SL ns
D4-036 Piracicaba	T+ ns CP ns	CP ns SL ns	T+ ns CP ns	CP ns SL ns
D4-043 Piracicaba	T++ 1973 CP ns	CP 1956 SL 0,052	T ns CP ns	CP ns SL ns
D4-059 Piracicaba	T+ ns CP ns	CP ns SL ns	T+ ns CP ns	CP ns SL ns
D4-060 Piracicaba	T++ 1975 CP ns	CP 1971 SL 0,019	T- ns CP ns	CP ns SL ns
D4-061 Piracicaba	T- ns C ns	CP ns SL ns	T- ns CP ns	CP ns SL ns
D3-009 Piracicaba	T+ ns CP ns	CP ns SL ns	T+ ns CP ns	CP ns SL ns
D3-018 Piracicaba	T ns CP ns	CP ns SL ns	T+ ns CP ns	CP ns SL ns
D3-027 Piracicaba	T++ 1990 CP 1980/85	CP 1972 SL 0,013	T+ ns CP ns	CP ns SL ns
D3-052 Piracicaba	T+ ns CP ns	CP ns SL ns	T+ ns CP ns	CP ns SL ns
D4-044 Piracicaba	T+ ns CP ns	CP ns SL ns	T- ns CP ns	CP ns SL ns
D4-052 Piracicaba	T+ ns CP ns	CP ns SL ns	T++ 1987 CP ns	CP 1981 SL 0,043
E3-099 Piracicaba	T++ 1995 CP 1986	CP 1982 SL 0,054	T+ ns CP ns	CP ns SL ns

TABELA 4. Sumário das análises estatísticas de Vazão **.

**T++ e T+: tendência positiva, com níveis de significância $\alpha = 0,05$ e $0,1$, respectivamente, seguido do ano em que esta tornou-se significativa. T— e T-: tendência negativa, com níveis de significância $\alpha = 0,05$ e $0,1$, respectivamente, seguido do ano em que esta tornou-se significativa. Mudança Brusca CP = ano de ocorrência. ns = não significativo. SL = nível de significância do teste de Pettitt.

Vazão	Período:1947-1997		Período: 1970-1997	
	Mann-Kendall	Pettitt	Mann-Kendall	Pettitt
5E-001 Apiai-Guaçu	T++ 1990 CP ns	CP 1964 SL 0,01692	T+ 1997 CP ns	CP 1987 SL 0,05397
5E-002 Taquari	T+ ns CP ns	CP ns SL ns	T- 1980 CP ns	CP ns SL ns
5E-003 Paranapanema	-	-	T++ 1997 CP 1996	CP 1986 SL 0,05072
5E-006 Itapetininga	T++ 1990 CP ns	CP ns SL ns	T+ ns CP ns	CP ns SL ns
7D-010 Peixe	-	-	T ns CP ns	CP ns SL ns
7C-002 Aguapeí	T++ 1973 CP ns	CP 1971 SL < 0,005	T+ 1977 CP ns	CP ns SL ns
7C-011 Aguapeí	-	-	T- ns CP ns	CP ns SL ns
8C-004 Aguapeí	-	-	T ns CP ns	CP ns SL ns
7B-006 São José dos Dourados	-	-	Período úmido 1975-1985	CP ns SL ns
5B-010 Turvo Grande	-	-	Período úmido 1975-1985	CP ns SL ns
3D-001 Camanducaia	T+ ns CP ns	CP ns SL ns	T+ ns CP ns	CP ns SL ns
3D-002 Camanducaia	T+ ns CP ns	CP ns SL ns	T+ ns CP ns	CP ns SL ns
3D-003 Atibaia	T- 1978 CP ns	CP ns SL ns	T- 1979 CP ns	CP ns SL ns
3D-006 Atibaia	T- 1978 CP ns	CP ns SL ns	T- 1979 CP ns	CP ns SL ns
3D-009 Jaguari	T-1989 CP 1984	CP 1983 SL 0,0033	T- 1988 CP 1985	CP 1983 SL 0,00268
4D-007 Piracicaba	T- ns CP ns	CP ns SL ns	T- ns CP ns	CP ns SL ns
4D-009 Atibaia	T- 1996 CP ns	CP ns SL ns	T- ns CP ns	CP ns SL ns
CESP Piracicaba	T- ns CP 1948	CP ns SL ns	T ns CP 1996	CP ns SL ns

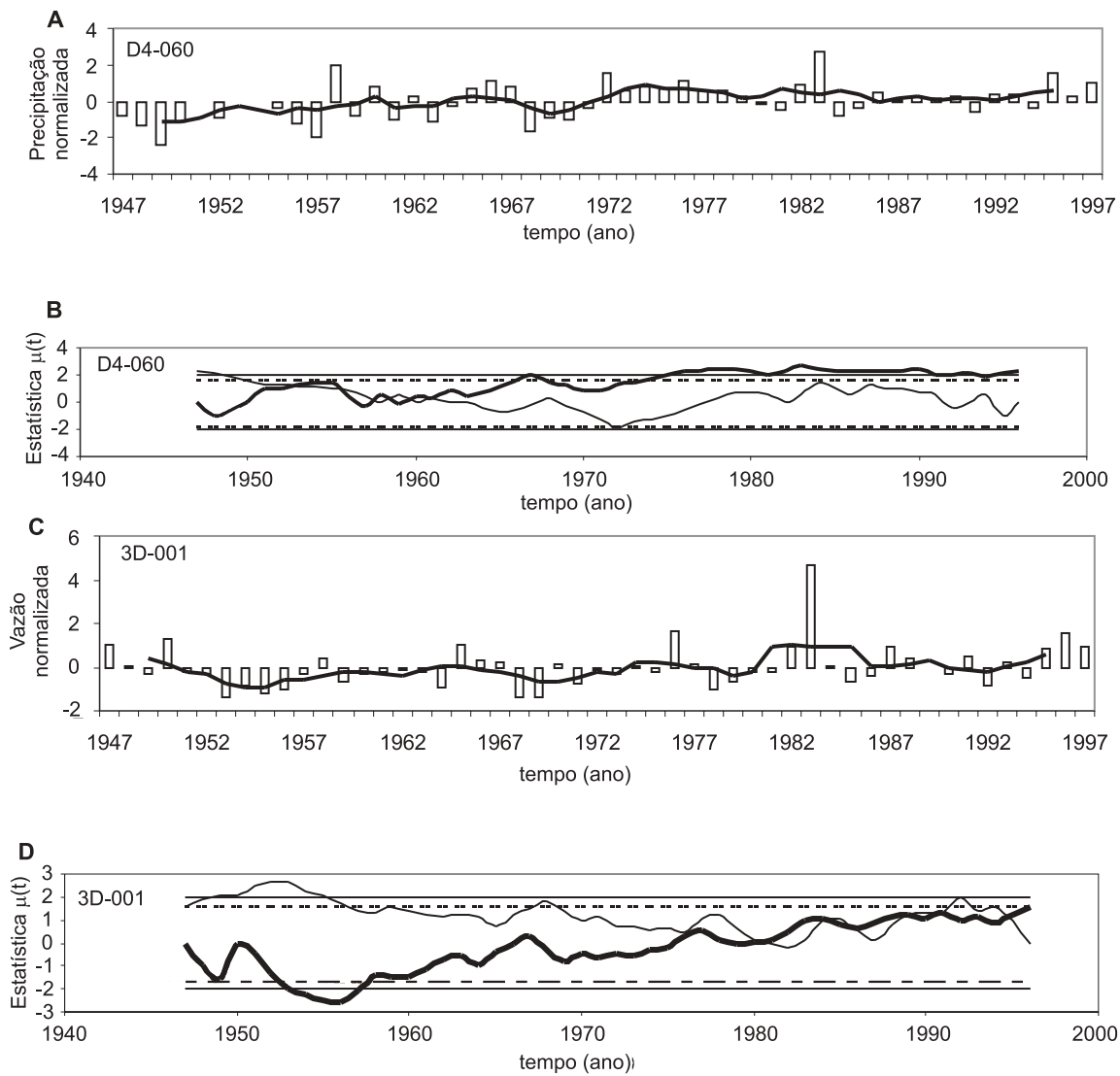


FIGURA 3. (A) Valores normalizados e média móvel de 5 termos da estação D4-060 bacia do Rio Piracicaba. (B) Teste seqüencial de Mann-Kendall para precipitação. (C) Valores normalizados e média móvel de 5 termos da estação 3D-001 do Rio Camanducaia. (D) Teste seqüencial de Mann-Kendall para a vazão do Rio Camanducaia.

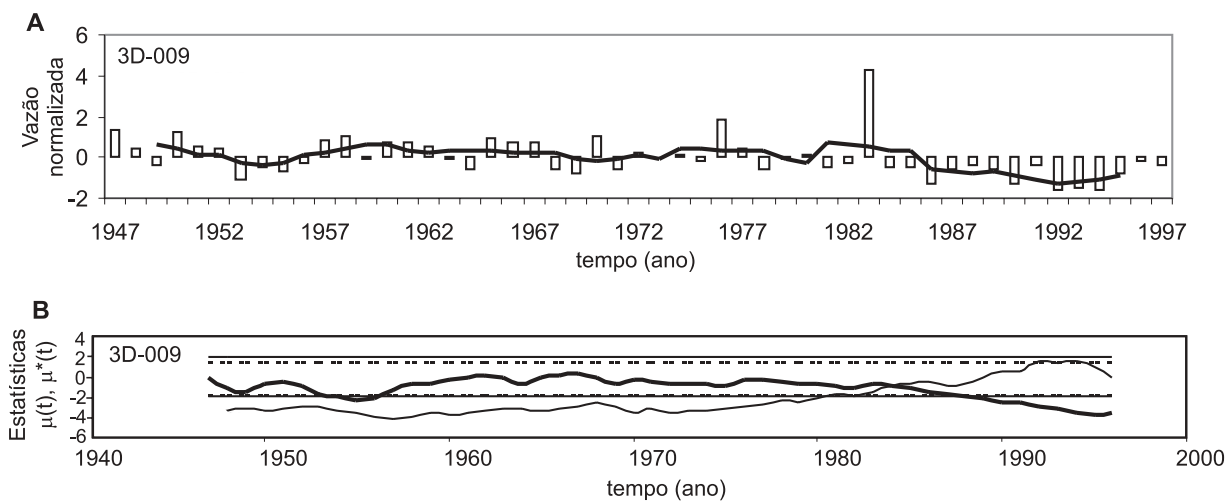


FIGURA 4. (A) Valores normalizados e média móvel de 5 termos da estação 3D-009 do Rio Jaguari (B) Teste seqüencial de Mann-Kendall para a vazão do Rio Jaguari.

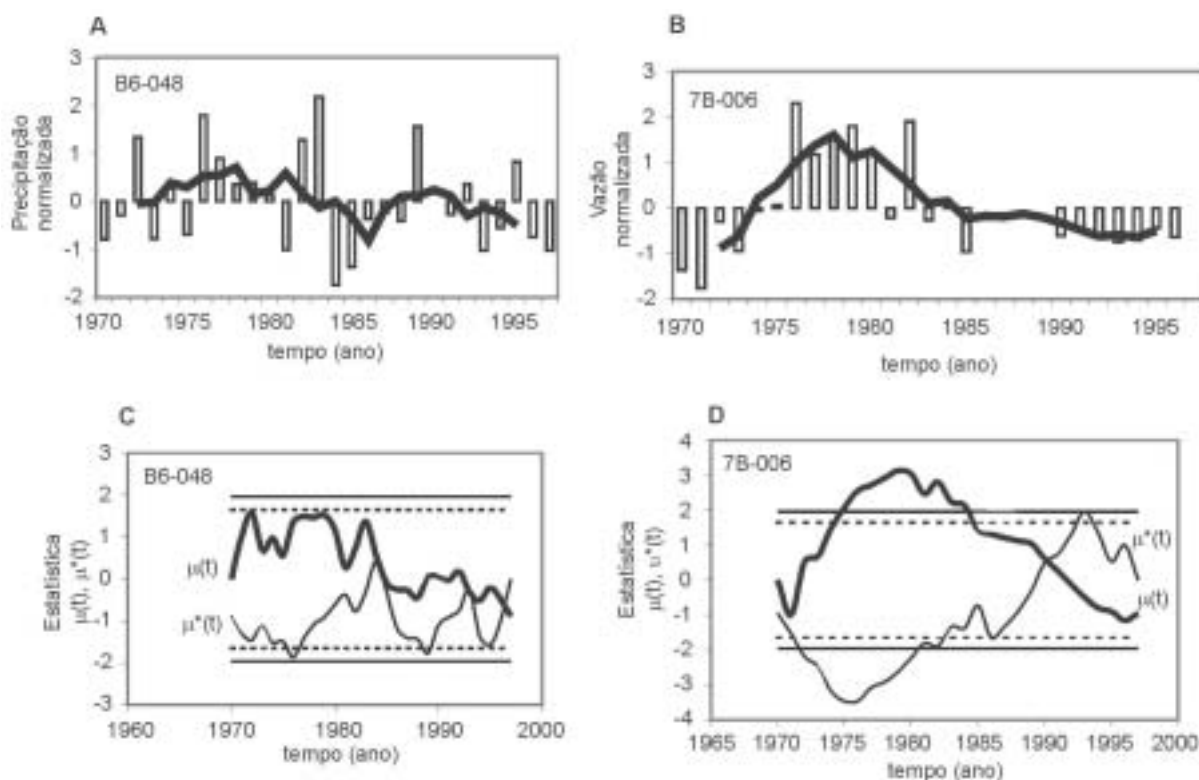


FIGURA 5. (A) Valores normalizados e média móvel de 5 termos para precipitação da estação D6-048 da bacia São José dos Dourados (B) Teste seqüencial de Mann-Kendall para precipitação (C) Valores normalizados e média móvel de 5 termos para vazão 7B-006 do Rio São José dos Dourados (D) Teste seqüencial de Mann-Kendall para vazão.

Alto Paranapanema

De um modo geral, as tendências são positivas tanto para a precipitação como para a vazão. No período 1947-1997, as tendências são positivas e significativas para a vazão dos rios Apiaí-Guaçu, Taquari e Itapetininga, sendo que essas tendências tornaram-se significativas em torno de 1990 para o Apiaí-Guaçu e Itapetininga.

Esse resultado está de acordo com o aumento significativo da precipitação na única série de precipitação com período similar na bacia, ou seja, a estação E5-046. Nessa estação houve uma mudança brusca significativa na média da precipitação em torno de 1964. Já para a vazão, a mudança brusca na média só foi detectada no Rio Apiaí-Guaçu em 1964. Essas tendências positivas concordam com os resultados da bacia do Rio Piracicaba para a precipitação e para a vazão somente do Rio Camanducais, sem a intervenção do Sistema Cantareira.

No período entre 1970 e 1997 a precipitação (E5-046) não apresentou tendência significativa e apenas o Rio Paranapanema apresentou tendência positiva significativa com nível de significância 0,05. O Rio Apiaí-Guaçu apresentou tendência positiva e o Rio Taquari tendência negativa, ambos com nível de significância de 0,10. A ausência de outras séries de

precipitação com o mesmo período impedem análises mais aprofundadas desse comportamento ambíguo.

Aguapeí

A vazão do Rio Aguapeí apresentou tendência positiva significativa para a série mais longa (7C-002) no período entre 1947 e 1997, com mudança brusca na média em 1971. A precipitação apresenta resultados gerais com tendência positiva no mesmo período; entretanto, apenas nas estações C7-006 e C7-045 as mudanças foram significativas. Mudança brusca na média foi observada em 1963 no posto C7-006. No período 1970-1997 apenas os períodos secos 1980-1982 e 1984-1987 foram detectados como sendo estatisticamente significativos no posto C7-075.

Peixe

Nessa bacia também os resultados apresentam tendência positiva na precipitação no período 1970-1997, tornando-se significativa em 1992 e com mudança brusca na média em 1986, detectada pelo teste de Pettitt. A vazão não apresentou tendência no período.

São José dos Dourados

Não houve tendências, nem mudanças bruscas na média nas séries de precipitação e vazão no período 1970-1997. Entretanto, um período úmido entre 1975 e

1985 foi detectado como estatisticamente significativo. Esse comportamento pode ser observado na Figura 4.

Turvo Grande

Não houve tendências, nem mudanças bruscas na média nas séries de precipitação e vazão no período 1970-1997. Entretanto, como na bacia do Rio São José dos Dourados, um período úmido entre 1975 e 1985 foi detectado como estatisticamente significativo.

As precipitações totais e vazões médias desses rios são apresentados nas Tabelas 5 e 6. As vazões dos rios da bacia do Piracicaba são apresentados também antes e depois do início das operações do Sistema Cantareira, ou seja antes e depois de 1975 para o Rio

Atibaia e antes e depois de 1981 para o Jaguari e Piracicaba.

Através da Tabela 6 pode-se observar a diminuição percentual das vazões dos rios sujeitos à retirada de água do Sistema Cantareira no período 1947 a 1997. Em estudo de séries históricas entre 1930 e 1995, Moraes et al. (1997) mostraram que os percentuais de diminuição, utilizando média aritmética nos rios Piracicaba (CESP), Atibaia (3D-006) e Jaguari (3D-009), foi de 11,8%, 17,8% e 47,0%, respectivamente. No mesmo trabalho citado, considerando a chuva como entrada em um modelo estocástico, esses percentuais de redução de vazão foram de 21,4%, 24,1% e 51,7%, respectivamente.

TABELA 5. Precipitações totais (mm).

POSTOS	BACIA	PRECIPITAÇÃO
E5-015	Alto Paranapanema	1.268,00
E5-046	Alto Paranapanema	1.204,86
D6-025	Peixe	1.422,51
C7-006	Aguapeí	1.186,28
C7-045	Aguapeí	1.321,42
C7-075	Aguapeí	1.242,49
B6-048	S. J. dos Dourados	1.390,40
B6-032	S. J. dos Dourados	1.460,09
B7-011	S. J. dos Dourados	1.308,14
C5-043	Turvo Grande	1.333,52
D4-061	Piracicaba	1.354,76
D4-012	Piracicaba	1.384,12
D4-036	Piracicaba	1.444,76
D4-043	Piracicaba	1.414,91
D4-059	Piracicaba	1.421,96
D4-060	Piracicaba	1.428,19
D4-061	Piracicaba	1.364,26
D3-009	Piracicaba	1.355,64
D3-018	Piracicaba	1.571,97
D3-027	Piracicaba	1.521,09
D3-052	Piracicaba	1.461,33
D4-044	Piracicaba	1.393,14
D4-052	Piracicaba	1.354,08
E3-099	Piracicaba	1.341,66

TABELA 6. Vazões médias (m³/s).

POSTOS	RIO	VAZÃO
5E-001	Apiai-Guaçu	13,21
5E-002	Taquari	10,22
5E-003	Paranapanema	20,37
5E-006	Itapetininga	20,11
7D-010	Peixe	8,63
7C-002	Aguapeí	33,13
7C-011	Aguapeí	66,42
8C-004	Aguapeí	87,12
7B-006	S. J. dos Dourados	12,55
5B-010	S. J. dos Dourados	6,44
3D-001	Camanducaia	14,36
3D-002	Camanducaia	7,16
3D-003	Atibaia 1947-1975	34,13
	1976-1997	30,19 (-11,54%)
3D-006	Atibaia 1947-1975	28,86
	1976-1997	23,51 (-18,54%)
3D-009	Jaguari 1947-1985	33,81
	1986-1997	19,18 (-43,27%)
4D-007	Piracicaba 1947-1985	142,32
	1986-1997	120,09 (-15,6%)
4D-009	Atibaia 1947-1975	36,74
	1976-1997	31,38 (-14,6%)
CESP	Piracicaba 1947-1985	125,16
	1986-1997	115,69 (-7,57%)

CONCLUSÕES

No que se refere à definição dos períodos secos e úmidos, a precipitação fica abaixo da média a partir da metade do mês de março para todas as bacias até a metade do mês de setembro, e acima nos meses restantes. A vazão tem sempre um atraso no início da seca de aproximadamente 15 dias com relação à precipitação. Já no início das chuvas a recarga do lençol freático faz com que haja um atraso maior para que a vazão ultrapasse a média e varia de 15 dias a 2 meses

Na maioria das bacias do projeto existe uma tendência positiva da precipitação similar à ocorrida

na bacia do Piracicaba quando a série considerada é de 1947 a 1997. Nesse período, a vazão acompanha a tendência positiva da precipitação nas bacias menos impactadas. A vazão nos rios que contribuem para o Sistema Cantareira, na bacia do Rio Piracicaba, apresentam comportamento diferente, apontando para uma diminuição de vazão no período estudado.

Nas séries no período entre 1970 e 1997, a análise estatística da precipitação mostrou tendências positivas significativas em 3 postos de medidas, e alguns períodos secos que se tornaram significativos por alguns anos.

No que se refere à vazão, apenas o Rio Paranapanema com tendência positiva e os rios Atibaia e Jaguari com

tendências negativas apresentaram variações estatisticamente significativas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP) e à Escola Superior de Agricultura (ESALQ/USP), por fornecerem os meios necessários para a realização desse trabalho, e à Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de concedida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BUIHAND, T.A. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. **Journal of Hydrology**, v. 58, p. 11-27, 1982.
2. BURN, D.H. Hydrologic effects of climatic change in West-Central Canada. **Journal of Hydrology**, p. 53-70, 1994.
3. CAVADIAS, G.S. A survey of current approaches to modeling of hydrological time-series with respect to climate variability and changes. **World Meteorological Organization/TD**, Report WCA SP-23, n. 534, 1992.
4. CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Relatório de Qualidade de águas interiores do Estado de São Paulo 1994**, 1995.
5. CHRISTOFOLETTI, A.L.H. **Estudo sobre a sazonalidade da precipitação na bacia do Piracicaba**. São Paulo, 1991. Dissertação (de Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas / USP.
6. CLARKE, R.T. & BRUSA, L.C. O método *bootstrap* para detectar tendências em séries de vazão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12, 1997, Vitória (ES). **Anais...** Vitória: Sociedade Brasileira de Recursos Hídricos, 1997, v. 2, p. 621-628.
7. CRH – CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, Relatório Zero da bacia de Aguapeí e Peixe**. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos das bacias dos rios Aguapeí e Peixe. 1997. Disponível em <http://www.sigrh.sp.gov.br>.
8. CRH – CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, Relatório Zero da bacia de São José dos Dourados**. Relatório n. 40675, 2001. Disponível em <http://www.sigrh.sp.gov.br>. (a).
9. CRH – CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, Relatório Zero da bacia de Turvo Grande**. Relatório n. 40515, 2001. Disponível em <http://www.sigrh.sp.gov.br>. (b).
10. CRH – CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, Relatório Zero da bacia de Alto do Paranapanema**. Minuta preliminar do Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI 14, 2001. Disponível em <http://www.sigrh.sp.gov.br>. (c).
11. DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Plano global dos recursos hídricos da bacia do Piracicaba** - 2a. etapa. Tecnosan, 8 volumes, 1986.
12. DEMARÉE, G.R. An indication of climatic change as seen from the rainfall data of a Mauritanian station. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 42, p.139-147, 1990.
13. DUNNE, T. & LEOPOLD, L.B. **Water in the Environmental Planning**. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1978, 818 p.
14. GOOSSENS, C. & BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the Northern Hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, v. 4, B4, p. 385-400, 1986.
15. GROppo, J.D.; MILDE, L.C.; MORAES, J.M.; GUANDIQUE, E.M.; MARTINELLI, L.A. Análise da vazão e da precipitação na bacia do Rio Piracicaba: Detecção de sinais devido a intervenções antrópicas. **Revista de Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 18, 2001.
16. MARENGO, J.A.; TOMASELLA, J.; UVO, C.R.B. On the suitability of non-parametric tests for detection of trends in Brazilian rivers. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1996, Campos de Jordão. **Anais...** 1996, p. 1492-1495.
17. MARTINELLI, L.A.; KRUSCHE, A.V.; VICTORIA, R.L.; CAMARGO, P.B.; BERNARDES, M.; FERRAZ, E.S.; MORAES, J.M.; BALLESTER, M.V. Effects of sewage on the chemical composition of Piracicaba river, Brazil. **Soil Air and Water Pollution**, v. 110, p. 67-79, 1999.
18. MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; FERRAZ, E.S.; CAMARGO, P.B.; MOREIRA, M.Z.; KRUSCHE, A.V.; MORAES, J.M.; BALLESTER, M.V.; LARA, LUCIENE L.S.; BERNARDES, M.C.; OMETTO, J.P.H.B.; CERRI, C.E. Hydrology and water quality in the Piracicaba River Basin, São Paulo State, Brazil. In: McCLAIN, M.E. (Ed.), **The Ecohydrology of South American rivers and wetlands**. International Association of Hydrological Sciences (IAHS). Special publication, 2002, n.6, p. 159-191.
19. MARTINELLI, L.A.; SILVA, A.M.; CAMARGO, P.B.; MORETTI, L.R.; TOMAZELLI, A.C.; SILVA, D.M.L.; FISCHER, E.G.; SONODA, K.C.; SALOMÃO, M.M.B. Levantamento das cargas orgânicas lançadas nos rios do Estado de São Paulo. **Biota Neotropica**, v. 2. Disponível em <http://www.biotaneotropica.org.br/v2n2/pt/abstract?article+BN01502022002>, 2003.
20. McLEOD, A.I. & HIPEL, K.W. **Reference Manual. The McLeod-Hipel Time Series Package**. 1995, 117 p.
21. MORAES, J.M.; PELLEGRINO, G.Q.; BALLESTER, M.V.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; KRUSCH, A.V. Estudo preliminar da evolução temporal dos componentes do ciclo hidrológico da bacia do Rio Piracicaba. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9 / SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES DE LÍNGUA OFICIAL PORTUGUESA, 2, 1995, Recife. **Anais...** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1995, p. 27-32.
22. MORAES, J.M.; GENOVEZ, A.M.; MORTATTI, J.; BALLESTER, M.V.; KRUSCHE, A.V.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L. Análise de intervenção das séries temporais de vazão dos principais rios da bacia do Rio Piracicaba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2, p. 65-79, 1997.

23. MORAES, J.M.; PELLEGRINO, G.Q.; BALLESTER, M.V.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; KRUSCHE, A.V. Trends in hydrological parameters of a southern Brazilian watershed and its relation to human induced changes. **Water Resources Management**, v. 12, p. 295-311, 1998.
24. PELLEGRINO, G.Q.; MORAES, J.M.; GUANDIQUE, E.M.; BALLESTER, M.V.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L. Análise Espaço Temporal de componentes hidroclimáticos na bacia do Rio Piracicaba. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 1, p. 125-135, 2001.
25. PETTITT, A.N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistics**, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.
26. PROCHNOW, M.C.R. **A qualidade das águas na bacia do Rio Piracicaba**. Rio Claro, 1981. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.
27. SALATI, E. **Análise ambiental sintética e qualidade das águas do Rio Corumbataí (SP) como subsídio para o planejamento regional integrado da bacia de drenagem do Rio Corumbataí, São Carlos**. São Carlos, 1996. Tese (Doutorado) – Ciência da Engenharia Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, USP.
28. SÃO PAULO – Governo do Estado de São Paulo. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. 1990, 137 p.
29. SCHULER, A.E. Análise da representividade físicas dos parâmetros do Topmodel em uma bacia de meso escala localizada nas cabeceiras do Rio Corumbataí, São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 25, 2000.
30. SNEYERS, R. **Sur l'analyse statistique des séries d'observations**. Genève: Note Technique n. 143, OMM n. 415, 1975, 192 p.
31. TUCCI, C.E.M. **Hidrologia - ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul/Editora da USP/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1993, 943 p.
32. UNESCO. **Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la Unesco para América Latina y el Caribe**. Montevideo. ROSTLAC, 1982.