

# ESTACIONARIEDADE E ESTUDO DE VAZÕES MÍNIMAS DO RIO PARAÍBA DO MEIO EM ALAGOAS

*Valmir de Albuquerque Pedrosa<sup>1</sup> & Roberaldo Carvalho de Souza<sup>2</sup>*

**RESUMO** -- As águas do rio Paraíba do Meio têm diversos usos em território alagoano: participam da produção de açúcar e álcool, irrigam os canaviais, serve aos serviços de saneamento das cidades lindeiras, possibilitam a pesca, o turismo e o lazer, produzem energia hidro-elétrica, além de formar a Lagoa Manguaba. Há anos discute-se a gradual diminuição das vazões deste rio. Esta pesquisa apresenta um estudo estatístico sobre estacionariedade da série de vazões do rio Paraíba, e conclui que não há evidência estatística para rejeitar a hipótese de estacionariedade das vazões do rio Paraíba. Além disto são apresentadas estimativas para as vazões mínimas.

**ABSTRACT**-- This paper shows the acceptance of the stationarity hypothesis of *Paraíba do Meio* natural flow series, for the period 1977-1997, where it was applied parametric statistical tests – Student t. The minimum discharge for *Atalaia gaging station* it was evaluated for several methods.

**PALAVRAS-CHAVES**-- Teste estatístico, vazões mínimas, estacionariedade.

## 1. INTRODUÇÃO

As bacias dos rios Mundaú e Paraíba do Meio abrangem uma área de 7.400 Km<sup>2</sup>, dos quais 4.882 Km<sup>2</sup> (cerca de 53%) correspondem ao trecho alagoano. O rio Mundaú percorre 141 Km desde sua nascente, localizada no estado de Pernambuco, desaguando na lagoa homônima no entorno da cidade de Maceió. Por sua vez, o rio Paraíba atravessa uma extensão de 122 Km iniciada em Pernambuco, até desaguar na lagoa Manguaba. A figura 1 apresenta esquematicamente o traçado dos rios.

A falta de água provocada pelas longas e freqüentes estiagens afeta a economia da região, dificultando a manutenção das atividades econômicas. A região também sofre com cheias. Soma-se

---

<sup>1</sup> Professor do Programa de Mestrado de Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Campus A.C.Simões. Maceió-Alagoas. E-mail : [valmirpedrosa@yahoo.com](mailto:valmirpedrosa@yahoo.com)

<sup>2</sup> Professor do Programa de Mestrado de Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Campus A.C.Simões. Maceió-Alagoas. E-mail : [rcsouza@ctec.ufal.br](mailto:rcsouza@ctec.ufal.br)

a isto a suspeita que ano a ano as vazões do rio Paraíba vêm diminuindo. Neste cenário, este estudo teve como objetivo verificar se há evidência estatística de estacionariedade de vazões mínimas e estimar algumas vazões mínimas por métodos estatísticos.

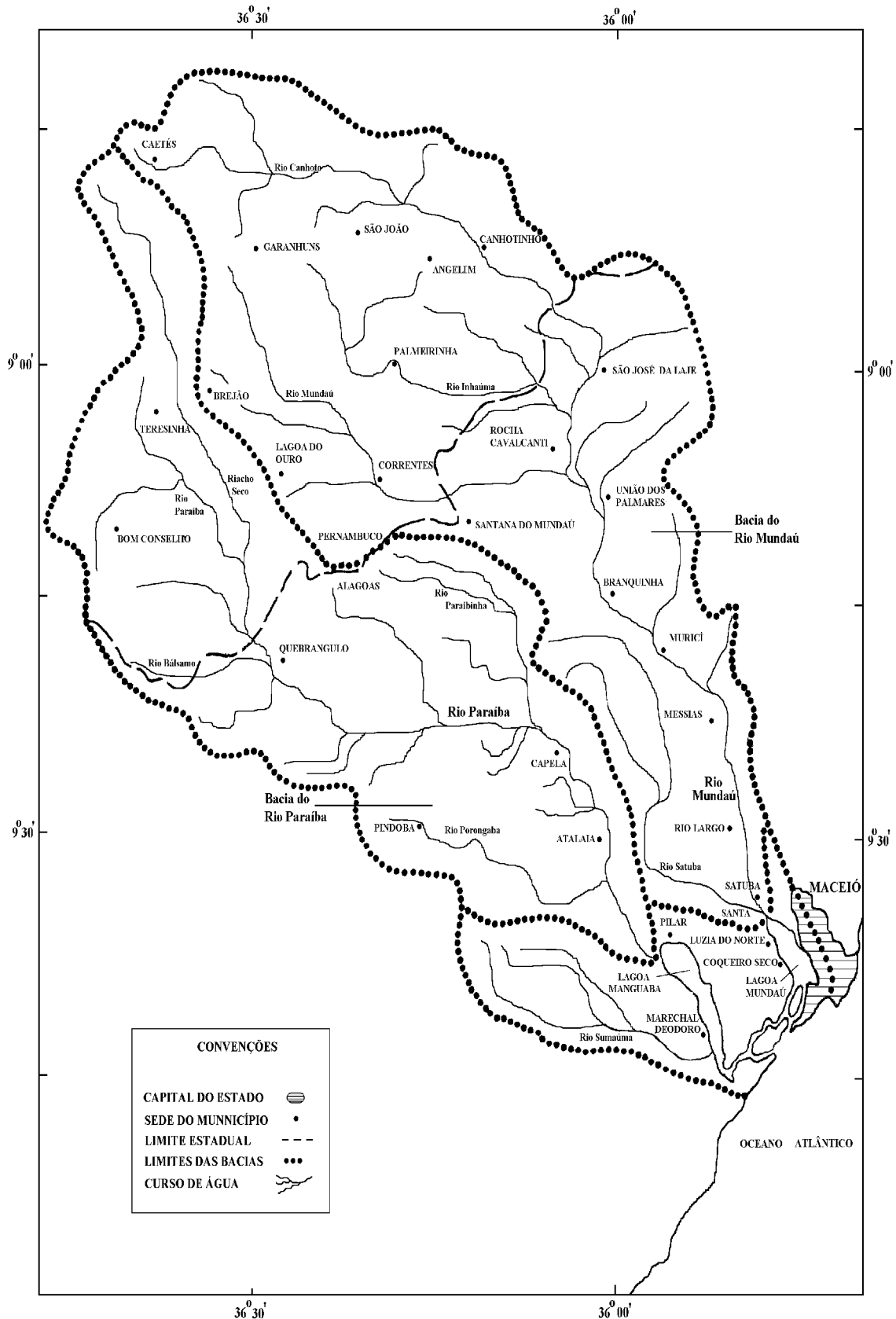


Figura 1- Localização esquemática da área de estudo.

Para a realização deste trabalho foram levantadas as informações fluviométricas dos rios Mundaú e Paraíba. A razão para avaliar, também, os dados do rio Mundaú é justificado através da similitude que existem entre essas bacias, podendo servir para comparações, preenchimento de falhas, e outras análises importantes numa região com escassez de dados hidrológicos.

### 1.1 Dados hidrológicos disponíveis

Na tabela 1 é apresentado o quadro resumo das informações fluviométricas disponíveis para as bacias do rios Mundaú e Paraíba, conforme pesquisa realizada nos arquivos da ANA, com atualização até janeiro de 1998.

Tabela 1. Relação das informações fluviométricas disponíveis para os rios Mundaú e Paraíba.

Código	Nome da estação		Est.	Período
39760000	Murici-Ponte	Rio Mundaú	AL	1965-1997
39770000	Faz. Boa Fortuna	Rio Mundaú	AL	1965-1997
39780000	Satuba	Rio Mundaú	AL	1965-1974
39870000	Atalaia	Rio Paraíba	AL	1977-1997
39850000	Quebrangulo	Rio Paraíba	AL	1990-1997
39890000	Viçosa	Rio Paraíba	AL	1989-1997

Após uma análise criteriosa em todos os registros descritos na tabela 1, foram descartados os postos Murici-Ponte (39760000), Satuba (39780000), Quebrangulo (39850000), Viçosa (39890000), ou por muitas falhas, ou por ausência de curva-chave bem definida, ou ainda, por curto período de registros. Desta primeira etapa, restaram os postos Boa Fortuna (39770000) e Atalaia (39870000) localizados no rio Mundaú e Paraíba, respectivamente. Os arquivos referidos na tabela 1 são registros históricos das cotas atingidas diariamente nas respectivas estações de monitoramento. Dentro do período de dados exposto na tabela 1, existem registros com falhas e/ou inconsistentes. Assim foi preciso antes de usar os dados, verificar a validade e preencher falhas.

Para o preenchimento de falhas partiu-se da suposição que as vazões entre os rios Mundaú e Paraíba teriam alta correlação, visto que ambas bacias tem áreas na mesma ordem de grandeza, semelhantes regimes pluviométricos, vegetação, atividade agrícola, tipo de solo, entre outras variáveis que se pode enumerar. Porém apesar desta concorrência de similitudes, não foi verificado

uma clara correlação entre as vazões dos postos Boa Fortuna (39770000) e Atalaia(39870000), conforme mostra a figura 2.

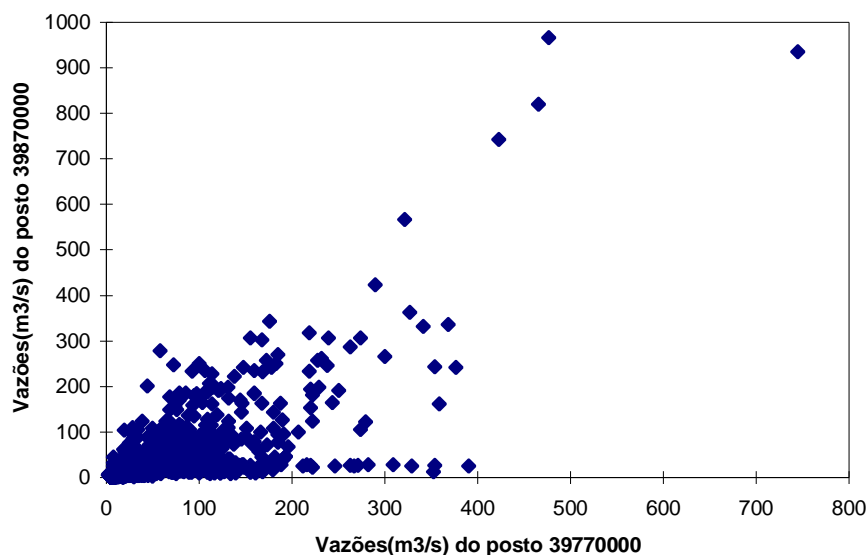


Figura 2. Relação entre as vazões dos postos Boa Fortuna e Atalaia.

Diante desta situação, não foi possível realizar um preenchimento de falhas no posto Atalaia. Contudo como o posto apresenta 20 anos de dados e as falhas encontradas são comuns no período de inverno, não há grande perda de informação para este trabalho, visto que, neste texto são de interesses longos períodos com estiagens. Assim, os únicos dados a serem utilizados para a análise objeto deste texto, foram os dados disponíveis para o posto Atalaia, que drena uma área de 2.517 km<sup>2</sup>. A figura 3 apresenta a curva-chave (curva de descarga) para o posto Atalaia (Código 39870000), localizado na cidade de Atalaia, dentro da bacia do rio Paraíba (figura 1).

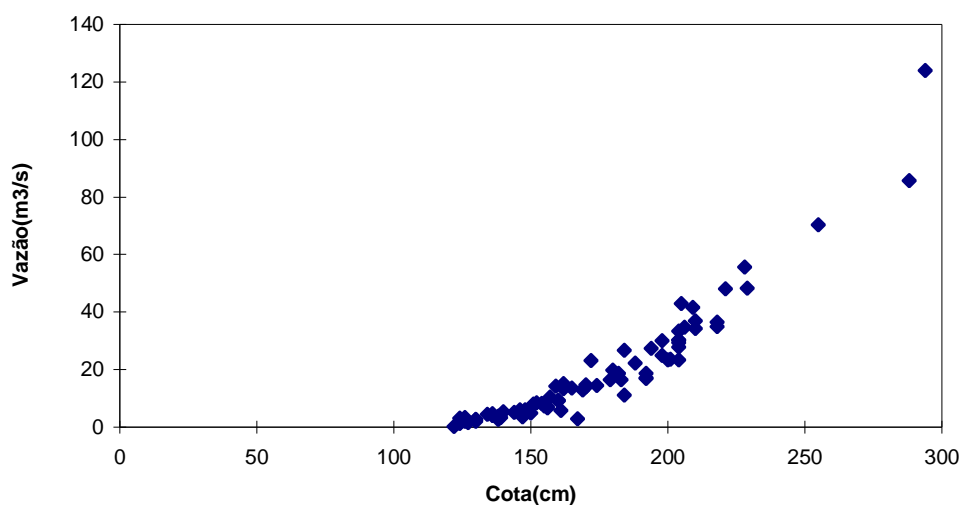


Figura 3. Curva-chave do posto Atalaia.

Para a construção desta curva estão disponíveis 78 pares de vazão *versus* cota. Percebe-se na figura 3 um acúmulo de medições em vazões médias e baixas, sendo raras as medições em períodos de elevadas vazões. Este comportamento é comum na maioria dos postos fluviométricos nacionais, devido a dificuldade de acesso e trabalho em algumas estações de coleta, na época de enchentes, no qual o rio invade o seu leito maior, além das altas velocidades registradas que dificultam o trabalho da equipe, ocasionando erros significativos em algumas ocasiões.

Problemas semelhantes ocorrem no período de vazões muito baixas (período de maior interesse para este trabalho), devido a imprecisão dos aparelhos em registrar baixas velocidades, e conseqüentemente baixas vazões.

Não é por outro motivo, que estudos de vazões máximas ou mínimas têm como requisito fundamental uma curva de descarga bem definida. Erros nesta etapa do trabalho podem invalidar as conclusões sobre os extremos fluviométricos ocorridos. Com esta preocupação, foi feita uma avaliação para descrever adequadamente esta curva para o posto Atalaia, que é apresentada pela figura 4.

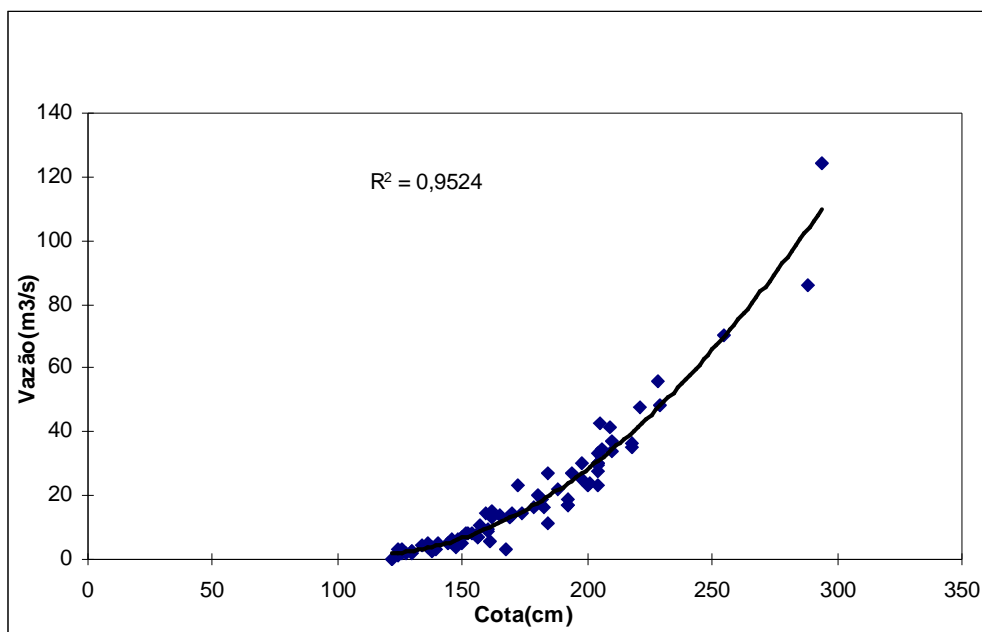


Figura 4. Traçado da curva-chave escolhida.

No próprio registro da ANA aparece uma curva de descarga na forma  $Q=a(h-h_0)^n$ , que apresenta um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) muito inferior ao apresentado na figura 4. Uma vez definida a curva-chave, segue a transformação das cotas diárias registradas em vazões conforme esquema apresentado pela figura 5.

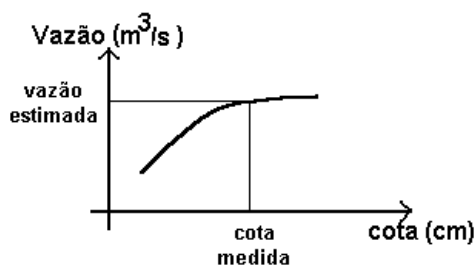


Figura 5. Transformação de cotas em vazões.

Assim, com os registros de vazões compilados, elaborou-se uma série de análises que estão detalhadamente exposta na continuação do texto.

## 2. COMPORTAMENTO DAS VAZÕES MÍNIMAS DO RIO PARAÍBA DO MEIO

Na bacia do rio Paraíba foram tratados os 20 anos de dados de fluviometria e realizados diversos estudos para verificar a hipótese do gradual declínio das vazões médias e mínimas. São apresentados nas figuras de 6 a 9, os resultados de uma análise que buscou registrar as vazões

médias mensais dos meses mais críticos (vazões mínimas) para o rio Paraíba, a saber: dezembro, janeiro, fevereiro e março. Tomou-se o cuidado de verificar o ano hidrológico local, que para a bacia estudada se inicia em março e termina em fevereiro.

Através da figura 6, que registra as vazões médias mensais de dezembro, ao longo de 20 anos, não é possível afirmar que haja um progressivo e contínuo processo de diminuição das vazões. Convém lembrar, que esta análise foi feita apenas para o posto Atalaia. Análise semelhante pode ser feita para as figuras 7, 8 e 9, que mostram esta variação para os meses de janeiro, fevereiro e março.

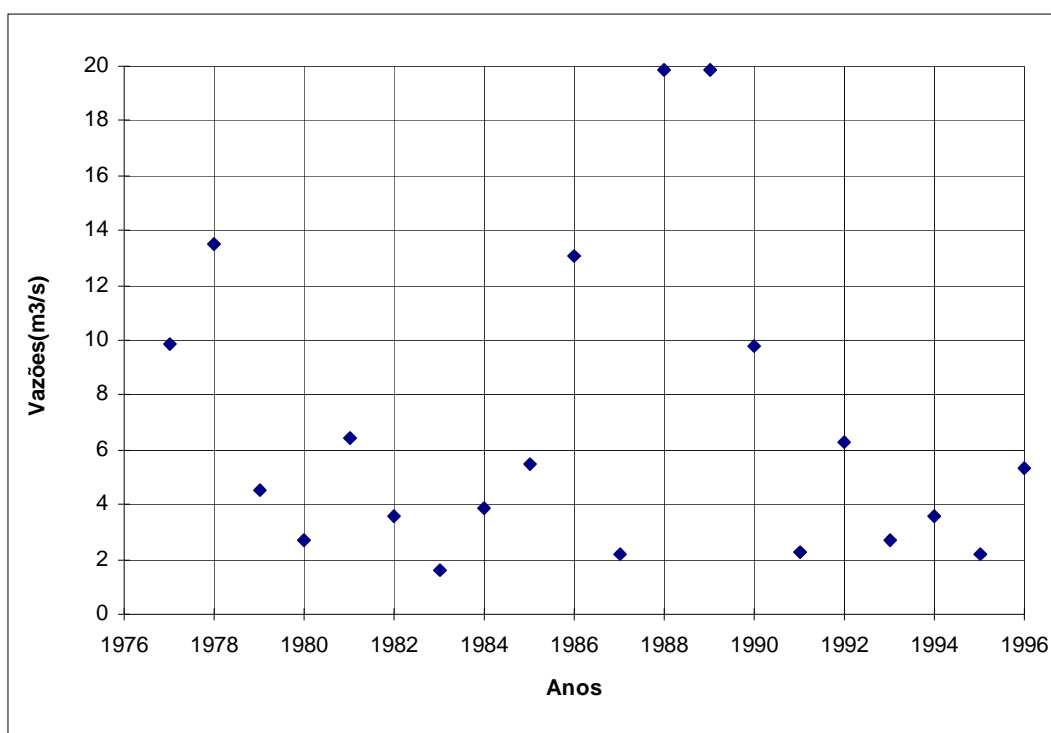


Figura 6. Vazões médias de dezembro do rio Paraíba ao longo dos anos, para o posto Atalaia.

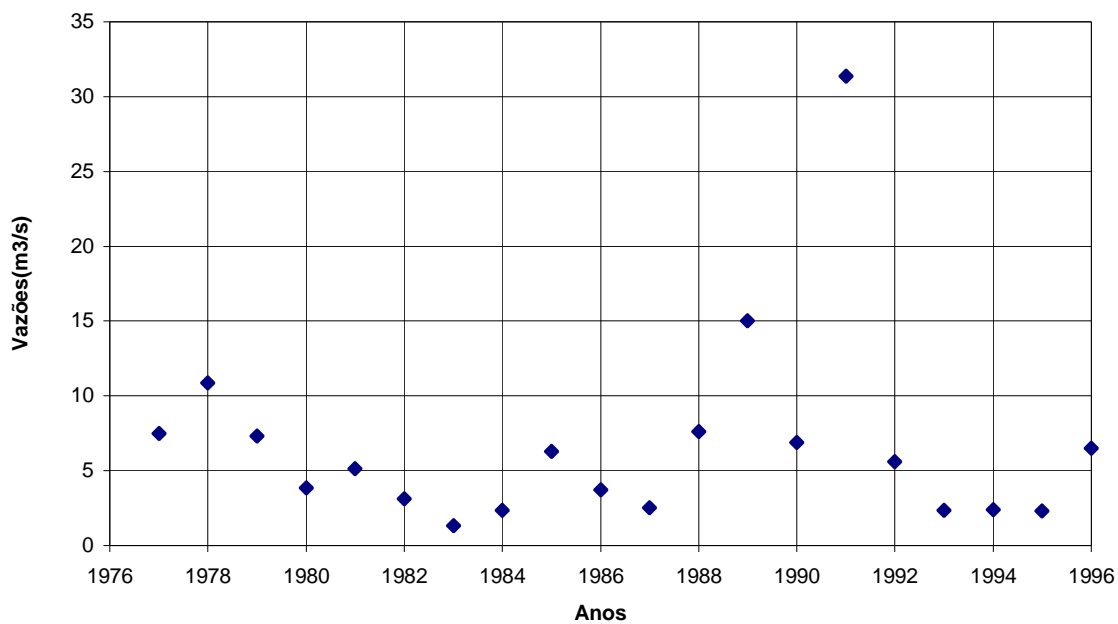


Figura 7. Vazões médias de janeiro do rio Paraíba ao longo dos anos, para o posto Atalaia.

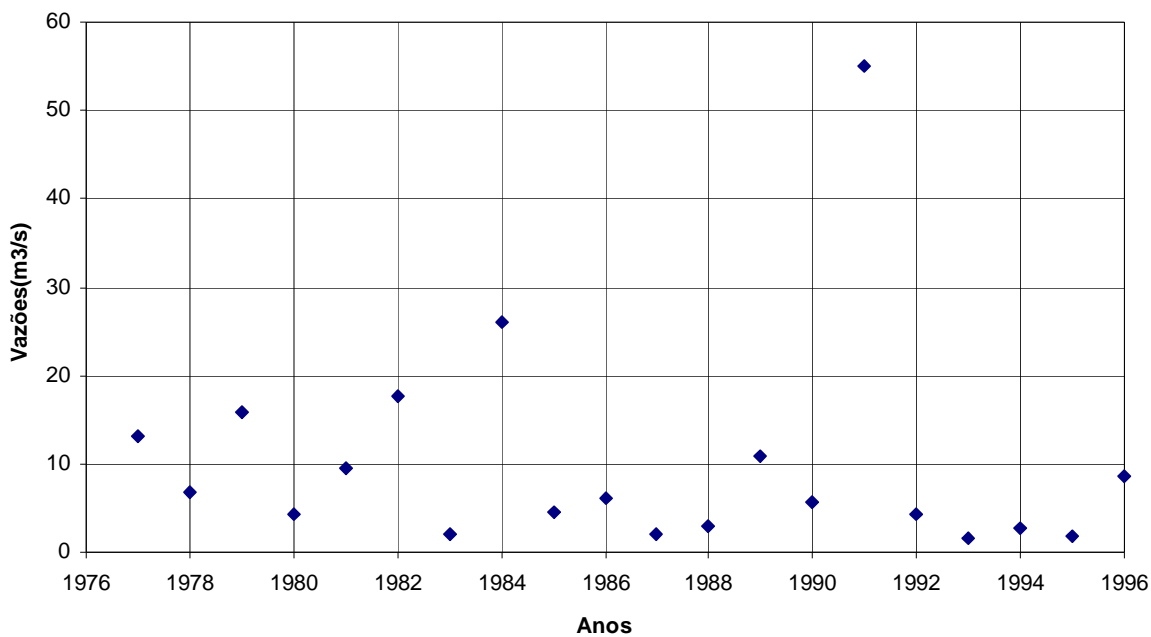


Figura 8. Vazões médias de fevereiro do rio Paraíba ao longo dos anos, para o posto Atalaia.



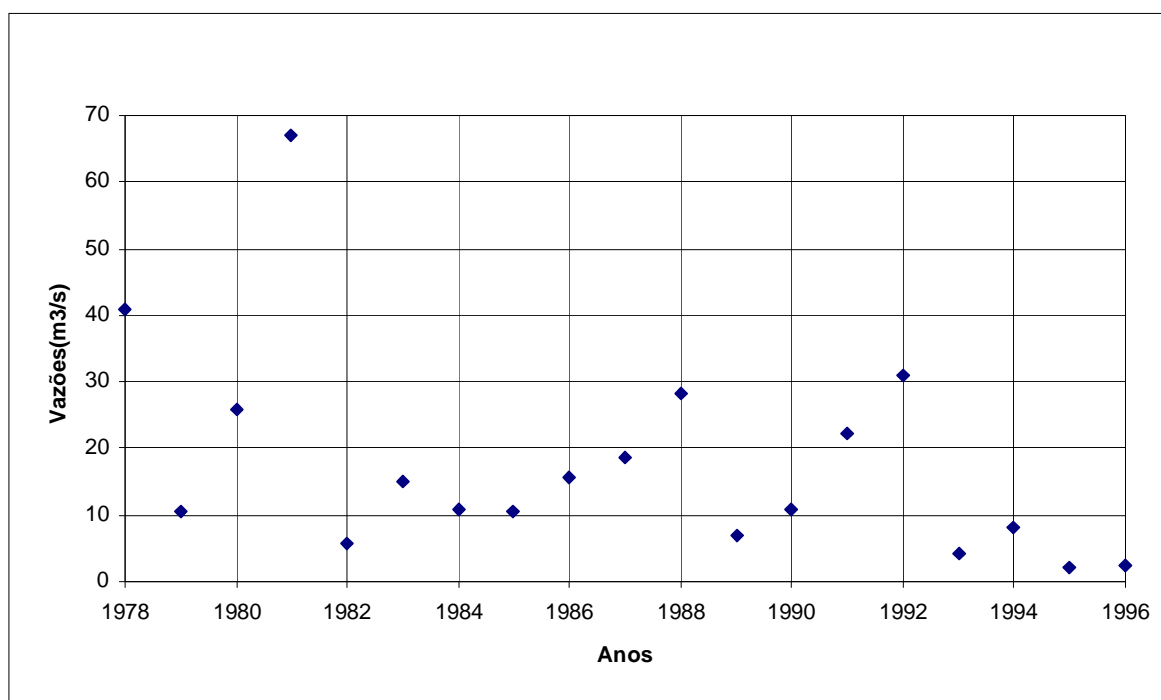


Figura 9. Vazões médias de março do rio Paraíba ao longo dos anos, para o posto Atalaia.

Para efeito de análise estatística de estacionariedade da série de vazões mínimas foi realizado o tradicional teste estatístico “t-Student”, que também é aplicado quando existem suspeições de que a médias de dois sub-períodos de dados é distinta. A tabela 2 apresenta, em resumo, a análise realizada.

Tabela 2. Teste estatístico para verificar mudança nas vazões médias(m<sup>3</sup>/s)

	Dezembro	Janeiro	Fevereiro
	Vazão média	Vazão média	Vazão média
Sub-Período 1 :1977-1985 (N1=9)	5,7	5,3	11,1
Sub-Período 2:1986-1996 (N2=11)	7,9	7,9	9,3
Teste “t-Student”	t=0.55	t=0.61	t=0.26

N1, Número de anos do sub-período 1

N2, Número de anos do sub-período 2

Como os valores calculados de “t” encontram-se dentro do intervalo [-2,845; +2,845] (“Valor teórico de “t-Student”, para graus de liberdade igual a 20 (= N1+N2), e para um risco admissível de incorrer em erro de 1%), a hipótese de igualdade das médias não pode ser rejeitada. Ou seja, não há evidências estatística(para um nível de erro de 1%) para rejeitar a hipótese de estacionariedade das vazões mínimas mensais do rio Paraíba.

### 3. ANÁLISE DOS DADOS DE CAMPO

A curva de descarga do posto Atalaia poderia ser questionada como a responsável por esconder uma tendência de declínio de vazões testemunhada por vários moradores do local. A qualidade da régua, ou melhor, das medições de cota diária efetuadas através de fáceis e seguras observações visuais, algumas vezes pode incorrer em erros, que levam a errados e confusos diagnósticos sobre disponibilidade hídrica. Para a análise e seção de interesse, buscou-se excluir registros de más condições da estação, ou períodos de inoperância, seja por ficar “seca”, ou por ter caído. Neste trabalho verificou-se o seguinte: i) entre os períodos de 13/07/89 a 31/07/89, 01/05/92 a 31/07/92 a régua esteve seca ou caída; ii) entre os períodos de 01/08/89 a 19/08/89, 05/04/92 a 31/04/92, 01/08/92 a 18/08/92 não foram feitos registros de cotas.

Percebe-se dois anos problemáticos: 1989 (por uma enchente com tempo de retorno de 25 anos) e 1992. Convém esclarecer que dos 78 pares (vazões versus cota) que formam a curva de descarga da seção Atalaia, 53 medições foram feitas antes de 1989, e 20 medições foram executadas depois de 1992, sendo a primeira medição feita em 1977. Um outro ponto que pode ser levantado é a alteração do leito do rio na seção de interesse, motivado pelo transporte de sedimentos, modificando a curva-chave, até o ponto de invalidá-la numa análise do tipo que se procura realizar neste texto. Sabe-se que a maioria do transporte de sedimentos é feito basicamente nos períodos das grandes enchentes. As enchentes mais recentes ocorreram no biênio 1988/89, conforme já apresentado no texto.

Na figura 10 é apresentado o perfil transversal da seção do posto Atalaia para três datas distintas. É possível verificar que não ocorreu alterações significativas no leito da seção, pelo menos para o período entre junho de 1990 a agosto de 1993. Perfis para outras datas não foram encontrados.

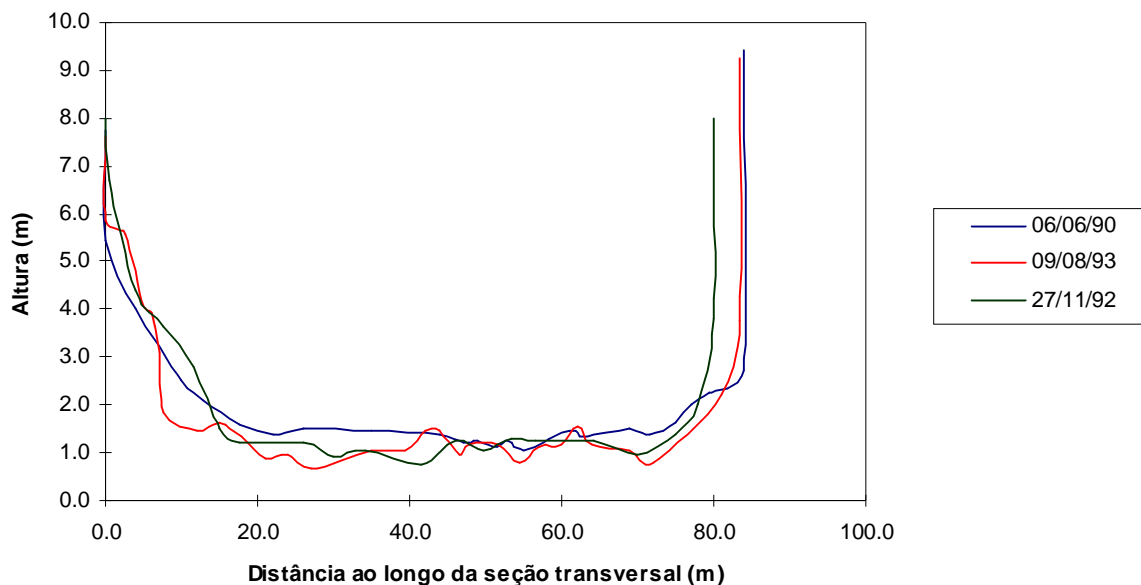


Figura 10. Alteração do leito do rio Paraíba, no posto Atalaia

Apesar das diferenças apresentadas, em estudos hidrológicos o conhecimento dos moradores e conhecedores de uma bacia é uma fonte de informação. Principalmente, para estudos de vazões máximas, através de depoimentos, fotos, marcas de água, que comprovem o nível que uma certa enchentes alcançou no local.

#### 4. ESTIMATIVAS DE VAZÕES MÍNIMAS

As vazões mínimas no contexto deste trabalho se caracterizam pelos menores valores das séries anuais. A vazão mínima neste caso estará associada a uma duração  $t$ . Por exemplo, a vazão mínima de um ano qualquer com duração de 30 dias indica que é o menor valor do ano da vazão média de 30 dias consecutivos. Na prática pouca utilidade tem a vazão mínima de 1 dia. Normalmente durações maiores, como 7 dias ou 30 dias apresentam maior interesse ao usuário já que a seqüência de vazões baixas é que representa um risco maior. Por exemplo, a vazão de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno ( ${}_{7}Q_{10}$ ) é muito utilizada para estudos de qualidade de água em rios. Para esta análise foram estimadas as vazões mínimas para as durações de 5, 7, 15, 30, e 60 dias, para o tempo de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, e 50 anos, além da curva de permanência de vazões médias mensais.

Para a estimativa de vazões mínimas utilizou-se a metodologia consagrada de curvas de frequências, que a partir da amostra de vazões observadas, procura inferir a função cumulativa de probabilidade da população da qual a amostra foi retirada. Isto permitirá estimar níveis de frequência e, reciprocamente, o risco de ocorrência de valores maiores ou menores que dado nível de vazão.

Foram escolhidas as distribuições de Gumbel, Weibull, Normal e Log-Normal, com os parâmetros calculados através do método dos momentos (MM) e da máxima verossimilhança (MMV). Na literatura os métodos mais indicados para a análise que se pretende é o Weibull e/ou Log-Normal, com coeficientes calculados através do MMV. Os resultados obtidos com as vazões do rio Paraíba, através destas funções são apresentados na seqüência nas tabelas a seguir.

Tabela 3. Vazões mínimas(m<sup>3</sup>/s) estimadas pela distribuição de Gumbel, para o posto Atalaia

Duração (dias)	Tempo de retorno (anos)					Método
	2	5	10	25	50	
5	2,36	1,41	1,00	0,63	0,40	MM
	2,34	1,61	1,29	0,97	0,78	MMV
7	2,38	1,41	1,00	0,62	0,39	MM
	2,46	1,67	1,34	1,02	0,84	MMV
15	2,64	1,58	1,12	0,69	0,45	MM
	2,74	1,86	1,49	1,14	0,94	MMV
30	2,99	1,84	1,35	0,88	0,62	MM
	3,01	2,11	1,38	1,29	1,06	MMV
60	4,12	2,17	1,34	0,56	0,11	MM
	4,34	2,75	2,07	1,43	1,06	MMV

Tabela 4. Vazões mínimas(m<sup>3</sup>/s) estimadas pela distribuição de Weibull, para o posto Atalaia

Duração (dias)	Tempo de retorno (anos)					Método
	2	5	10	25	50	
5	2,41	1,31	0,87	0,53	0,36	MM
	2,45	1,36	0,93	0,57	0,39	MMV
7	2,42	1,39	0,87	0,52	0,36	MM
	2,46	1,37	0,93	0,57	0,39	MMV

15	2,68	1,46	0,97	0,58	0,40	MM
	2,74	1,53	1,04	0,64	0,44	MMV
30	3,07	1,72	1,12	0,72	0,50	MM
	3,12	1,77	1,22	0,76	0,54	MMV
60	4,01	2,00	1,24	0,68	0,44	MM
	4,19	2,15	1,38	0,78	0,52	MMV

Tabela 5. Vazões mínimas ( $m^3/s$ ) estimadas pela distribuição Normal, para o posto Atalaia

Duração (dias)	Tempo de retorno (anos)					Método
	2	5	10	25	50	
5	2,61	1,38	0,74	0,06	?	MM
						MMV
7	2,62	1,38	0,74	0,04	?	MM
						MMV
15	2,91	1,54	0,83	0,06	?	MM
						MMV
30	3,28	1,81	1,03	0,20	?	MM
						MMV
60	4,61	2,11	0,80	?	?	MM
						MMV

Tabela 6. Vazões mínimas ( $m^3/s$ ) estimadas pela distribuição Log-Normal, para o posto Atalaia

Duração (dias)	Tempo de retorno (anos)					Método
	2	5	10	25	50	
5	2,27	1,47	1,16	0,92	0,78	MM
	2,27	1,48	1,18	0,93	0,80	MMV
7	2,28	1,47	1,17	0,91	0,78	MM
	2,29	1,51	1,21	0,96	0,83	MMV
15	2,54	1,64	1,30	1,02	0,87	MM
	2,54	1,67	1,35	1,07	0,92	MMV
30	2,89	1,89	1,52	1,20	1,03	MM
	2,89	1,92	1,54	1,23	1,06	MMV
60	3,87	2,36	1,81	1,38	1,15	MM
	3,87	2,38	1,84	1,41	1,18	MMV

Para auxiliar a escolha de qual é distribuição que deve ser usada, cabe salientar, que os coeficientes de determinação obtidos pelo método da MMV, entre vazões medidas e vazões estimadas, foram 0,97 e 0,96, para as distribuições Weibull e Log-Normal, respectivamente. As demais distribuições apresentaram menores coeficientes de determinação.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Apesar dos depoimentos dos moradores locais que acreditam e alertam para uma gradual e contínua diminuição nas vazões médias e mínimas do rio Paraíba, os dados fluviométricos disponíveis e os testes estatísticos apontam que não há evidência estatística para rejeitar a hipótese de estacionariedade das vazões do rio Paraíba, especificamente no posto Atalaia, localizado nas imediações do município de mesmo nome.

É preciso frisar dois aspectos interessantes desta conclusão: i) o consumo consultivo de água para a irrigação deve ter crescido significativamente durante o período de análise dos dados (1977-1997), podendo inclusive alterar a disponibilidade do rio, entretanto faltam dados para comprovar este alerta; ii) ainda se tivéssemos encontrado um gradual decréscimo nas vazões médias e mínimas do rio Paraíba (posto Atalaia), deveria-se perguntar pela existência de alterações pluviométricas no período de análise, antes de indicar as mudanças na cobertura vegetal e o inadequado manejo do solo, como os responsáveis por tal situação.

Diante destas divergências, recomenda-se um monitoramento mais intensivo na bacia, de forma a criar novas informações que subsidiem um estudo mais aprofundado. Pois a falta de maiores e melhores informações poderiam fragilizar as conclusões desta análise.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CLARKE, R.T. (1994). Statiscal Modelling in Hydrology. John Wiley & Sons.

TUCCI, C.E. 2002. Regionalização de vazões. Porto Alegre. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TUCCI, C.E.M. (org.) 1997. Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade/ABRH/EDUSP. 943p. Segunda Edição.