



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SECÇÃO CIRCULANTE

ESTUDO DOS EFEITOS E ALTERAÇÕES NO USO E  
OCUPAÇÃO DO SOLO SOBRE AS SÉRIES  
HIDROLÓGICAS

LYDIANE ABDON LEAL

Campinas

2001





UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DOS EFEITOS E ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO  
SOLO SOBRE AS SÉRIES HIDROLÓGICAS**

**Lydiane Abdon Leal**

**Orientador: Valter Hernandez**

Atesto que essa é a versão definitiva da dissertação.	
	13/05/01
Prof. Dr. Valter Hernandez	
Matrícula: 23794-9	

Dissertação apresentada à banca examinadora da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Recursos Hídricos.

Campinas, SP  
2001

20116265

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

L473e

Leal, Lydiane Abdon

Estudo dos efeitos e alterações no uso e ocupação do solo sobre as séries hidrológicas / Lydiane Abdon Leal. -- Campinas, SP: [s.n.], 2001.

Orientador: Valter Hernandez.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Solo - Uso. 2. Previsão hidrológica. 3. Hidrologia - Modelos. 4. Recursos hídricos - Desenvolvimento. 5. Desmatamento. 6. Solos - Análise. I. Hernandez, Valter. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

**ESTUDO DOS EFEITOS E ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO SOBRE  
AS SÉRIES HIDROLÓGICAS**

Por  
Lydiane Abdon Leal

Tese aprovada em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2001

Banca Examinadora

  
Prof. Dr. Walter Hernandez  
(Orientador – FEC – UNICAMP)

  
Prof. Dr. Abel Maia Genovez  
(Membro – FEC – UNICAMP)

  
Prof. Kamel Zahed Filho  
(Membro – EPUSP – USP)

*Este trabalho dedico a meus pais,  
Reinaldo e Solimar, que sempre  
me incentivaram.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Valter Hernandez pela orientação, dedicação, amizade e paciência.

Ao Prof. Dr. Abel Genovez pelo fato de, no início da caminhada, me fazer enxergar o significado do que parecia ser um recuo, mas que foi essencial ao longo da pesquisa, mostrando que tudo que se faz necessita ser bem feito e com dedicação, meu muito obrigado.

Ao meu irmão Fábio, sempre aconselhando e torcendo por mim, meu muitíssimo obrigado.

Aos amigos de tanto tempo e de apoio constante: Poliana, Kátia, Samira, Gisele, Tal, Verônica, Ivana, Érika e Eliane que, mesmo apesar da distância participaram das dificuldades e alegrias vividas em todas as etapas do curso.

A Paula, Maria Alice, Vivien, Carla e Neusa, que apesar de pouco tempo de convivência mostraram sua amizade sempre apoiando e incentivando em todos os momentos.

A Suzi, Éder, Cris, Dinho e Samira pela constante ajuda, pela convivência e pelos momentos de descontração, ajudando a superar a saudade de casa e seguir em frente.

Aos funcionários Marisa, Carlinhos, Pauerman e Sandra que proporcionaram bons momentos durante nossa convivência.

Ao funcionário Paulo Valadares do DAEE – Vale do Paraíba, pela imensa colaboração na fase de busca de dados para desenvolvimento da pesquisa.

A ANEEL, Eletropaulo, Light e DAEEE, pelo fornecimento das séries hidrológicas.

A Faculdade de Engenharia Civil e ao CNPq pela bolsa de estudos concedida.

A todas aquelas pessoas que contribuíram de alguma forma para que este momento pudesse ser relaizado.

<b>SUMÁRIO</b>	páginas
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>xvii</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....</b>	<b>xviii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xx</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xxi</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>01</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>04</b>
2.1 Objetivo Geral.....	04
2.2 Objetivos Específicos.....	04
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>05</b>
3.1 Introdução.....	05
3.2 Papel das Florestas no Regime Hidrológico.....	07

3.3 Uso e Ocupação do Solo.....	09
3.3.1 Queimadas.....	17
3.3.2 Desmatamento.....	18
3.3.3 Reflorestamento.....	31
3.3.4 Urbanização.....	36
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>41</b>
4.1 Análises Realizadas.....	41
4.1.1 Análises Gráficas das Séries.....	41
4.1.1.1 Fluviogramas.....	41
4.1.1.2 Histogramas.....	42
4.1.1.3 Correlação entre os Postos.....	42
4.1.1.4 Curva das Diferenças Acumuladas.....	42
4.1.2 Análise Estatística das Séries Fluviométricas e Pluviométricas Observadas.....	42
4.1.2.1 Estudo de Tendência.....	43
4.1.2.2 Análise de Estabilidade.....	44
4.1.3 Aplicação do Modelo Chuva-Deflúvio.....	47

4.1.3.1 Descrição Geral do Modelo.....	47
4.1.3.2 Equacionamento do Modelo.....	48
4.1.4 Análises Estatísticas sobre as Séries Fluviométricas geradas pelo modelo.....	58
<b>5 ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>59</b>
5.1 Caracterização das Bacias.....	59
5.1.1 Situação Geográfica.....	59
5.1.2 Geologia.....	61
5.1.3 Hidrografia.....	61
5.2 Dados Hidrológicos.....	62
<b>6 RESULTADOS.....</b>	<b>73</b>
6.1 Análises Gráficas.....	73
6.1.1 Fluviogramas.....	73
6.1.2 Histogramas.....	75
6.1.3 Correlação entre os Postos.....	78
6.1.4 Curva das Diferenças Acumuladas.....	79

6.2 Análises Estatísticas.....	81
6.2.1 Postos Pluviométricos.....	81
6.2.1.1 Análise de Tendência.....	81
6.2.1.2 Análise de Estabilidade.....	82
6.2.2 Postos Fluviométricos.....	90
6.2.2.1 Análise de Tendência.....	90
6.2.2.2 Análise de Estabilidade.....	94
6.3 Análise através do Modelo Chuva-Deflúvio.....	98
6.3.1 Parâmetros Calibrados.....	98
6.3.1.1 Sub-Bacia Ponte Alta.....	98
6.3.1.2 Sub-Bacia Estrada de Cunha.....	100
6.3.2 Análises dos Resultados da Calibragem.....	102
6.3.2.1 Sub-Bacia Ponte Alta.....	103
6.3.2.2. Sub-Bacia Estrada de Cunha.....	106
6.3.3 Aplicação do Modelo.....	110
<b>7 CONCLUSÕES.....</b>	<b>127</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>129</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

	página
3.1 Tempo de Tendência do Aumento da Vazão para a Bacia Wights.....	21
3.2 Curva de Regressão da Cobertura Florestal do Estado de São Paulo.....	28
3.3 Modificações da Cobertura Vegetal florestal e suas Conseqüências.....	30
3.4 Processos que ocorrem em uma Área Urbana.....	38
4.1 Fluxograma do modelo TUPL.....	57
5.1 Evolução da Cobertura Vegetal.....	60
5.2 Distribuição dos Postos Pluviométricos e Fluiométricos.....	70
5.3 Mapa de Isoietas.....	71
6.1 Fluiograma – Posto Ponte Alta.....	74
6.2 Fluiograma – Posto Estrada de Cunha.....	74
6.3 Histograma Estrada de Cunha – Bacia do Paraitinga.....	75
6.4 Histograma São Luís do Paraitinga – Bacia do Paraitinga.....	76

6.5 Histograma Natividade da Serra – Bacia do Paraibuna.....	77
6.6 Histograma Ponte Alta – Bacia do Paraibuna.....	77
6.7 Correlação entre o Posto Ponte Alta e o Posto Estrada de Cunha.....	78
6.8 Curva das Diferenças Acumuladas – Posto Ponte Alta.....	79
6.9 Curva das Diferenças Acumuladas – Posto Estrada de Cunha.....	80
6.10 Ponte Alta – Calibração para o ano de 1989.....	103
6.11 Ponte Alta – Calibração para o ano de 1991.....	104
6.12 Ponte Alta – Calibragem para o ano de 1993.....	104
6.13 Ponte Alta – Validação para o ano de 1990.....	105
6.14 Ponte Alta – Validação para o ano de 1992.....	105
6.15 Ponte Alta – Validação para o ano de 1994.....	106
6.16 Estrada de Cunha – Calibração para o ano de 1989.....	107
6.17 Estrada de Cunha – Calibração para o ano de 1991.....	107
6.18 Estrada de Cunha – Calibração para o ano de 1993.....	108
6.19 Estrada de Cunha – Validação para o ano de 1990.....	108
6.20 Estrada de Cunha – Validação para o ano de 1992.....	109

6.21 Estrada de Cunha – Validação para o ano de 1994.....	109
6.22 Gráfico de Correlação entre vazões observadas e vazões calculadas para a sub-bacia Ponte Alta.....	115
6.23 Gráfico de Correlação entre vazões observadas e vazões calculadas para a sub-bacia Estrada de Cunha.....	115
6.24 Bom ajuste para o ano de 1968.....	117
6.25 Bom ajuste para o ano de 1977.....	117
6.26 Ajuste não tão satisfatório para o ano de 1958.....	118
6.27 Ajuste não tão satisfatório para o ano de 1962.....	118
6.28 Bom ajuste para o ano de 1968.....	119
6.29 Bom ajuste para o ano de 1972.....	120
6.30 Ajuste não tão satisfatório para o ano de 1960.....	120
6.31 Ajuste não tão satisfatório para o ano de 1966.....	121
6.32 Gráfico da relação vazão calculada, vazão observada versus período de ocorrência para a sub-bacia Ponte Alta.....	124
6.33 Gráfico da relação vazão calculada, vazão observada versus período de ocorrência para a sub-bacia Estrada de Cunha.....	124

## **LISTA DE TABELAS**

	página
3.1 Áreas com cobertura vegetal natural no período de 1990-1992.....	06
3.2 Classificação sobre a mudança e uso do solo.....	10
3.3 Proporção de Floresta de Eucalipto a ser desmatada para produzir um máximo incremento no fluxo, considerando 10% de tendência na chuva e no potencial de evaporação.....	12
3.4 Proporção de Floresta de Eucalipto a ser desmatada para produzir mudança significativamente estatística (90% de nível de significância) no fluxo.....	13
3.5 Evolução da Cobertura Vegetal Natural nos períodos de 1962, 1971-1973 e 1990-1992.....	16
3.6 Valores Médios de alteração da vazão de florestas tropicais, devido ao desmatamento em função da nova cobertura .....	20
3.7 Taxa de Desmatamento e de Regeneração da Mata Atlântica entre os anos de 1985 e 1990 (Km <sup>2</sup> ).....	26
3.8 Evolução de perda de cobertura vegetal no Estado de São Paulo.....	27
3.9 Taxa de Desmatamento histórico na Mata Atlântica. Valores em 10 <sup>3</sup> Km <sup>2</sup> .....	29

3.10 Áreas Reflorestadas com <u>Pinus</u> , <u>Eucalyptus</u> e outros no Estado de São Paulo.....	34
3.11 Evolução do Reflorestamento no estado de São Paulo os períodos de 1962, 1969, 1971-1973 e 1991-1992.....	34
3.12 Dados comparativos do reflorestamento na Região do Vale do Paraíba, nos períodos de 1971-1973, 1978 e 1991-1992.....	35
3.13 Plantio com espécies de <u>Pinus</u> e <u>Eucalyptus</u> na R.A do vale do Paraíba, nos períodos de 1971-1973, 1978 e 1991-1992.....	36
3.14 Causas e Efeitos da Urbanização sobre as inundações Urbanas.....	37
4.1 Tabela geral dos elementos que compõe o modelo TUPI.....	56
5.1 Postos Pluviométricos – Bacia do Alto Paraíba.....	65
5.2 Postos Fluviométricos – Bacia do Alto Paraíba.....	69
6.1 Postos Pluviométricos – Método <i>Rank Correlation</i> .....	84
6.2 Postos Pluviométricos – Método da Regressão Linear.....	85
6.3 Postos Pluviométricos – Análise da Variância (Teste “F”).....	86
6.4 Postos Pluviométricos – Análise da Média (Teste “t”).....	88
6.5 Postos Fluviométricos – Método <i>Rank Correlation</i> .....	91

6.6 Postos Fluviométricos – Método da Regressão Linear.....	92
6.7 Postos Fluviométricos - Análise de Tendência / <i>Rank Correlation</i> para o Período de Estudo mais recente.....	93
6.8 Postos Fluviométricos - Análise de Tendência / Regressão Linear para o Período de Estudo mais recente.....	93
6.9 Postos Fluviométricos – Análise da Variância (Teste “F”).....	95
6.10 Postos Fluviométricos – Análise da média (Teste “t”).....	96
6.11 Postos Fluviométricos – Análise de Variância (Teste “F”) para o periodo mais recente.....	97
6.12 Postos Fluviométricos – Análise da Média (Teste “t”) para o periodo mais recente.....	97
6.13 Parâmetros Resultantes da Calibração - Ponte Alta (1).....	99
6.14 Parâmetros Resultantes da Calibração - Ponte Alta (1).....	99
6.15 Totais Mensais de Evaporação – Ponte Alta (1).....	100
6.16 Parâmetros Resultantes da Calibração – Estrada de Cunha (1).....	101
6.17 Parâmetros Resultantes da Calibração – Estrada de Cunha (2).....	101
6.18 Totais Mensais de Evaporação – Estrada de Cunha.....	102

## **LISTA DE QUADROS**

	página
6.1 Quadro comparativo das vazões médias observadas e calculadas para o período de calibragem e validação nos postos: Estrada de Cunha e Ponte Alta.....	102
6.2 Resultado Modelo Tupi – Ponte Alta.....	111
6.3 Resultado Modelo Tupi – Estrada de Cunha.....	113
6.4 Médias da relação entre vazão média calculada e vazão observada.....	114
6.5 Análise Estatística de Tendência ( <i>Rank Correlation</i> ) para a Série Gerada – Observada.....	122
6.6 Análise Estatística de Tendência (Regressão Linear) para a Série Gerada – Observada.....	122
6.7 Análise Estatística de Estabilidade (Variância) para a Série Gerada – Observada.....	123
6.8 Análise Estatística de Estabilidade (Média) para a Série Gerada – Observada.....	123
6.9 Quadro resumo comparativo das análises realizadas.....	125

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS**

BII: Índice de infiltração (cm/dia)

BF: Parcela da infiltração que infiltra e depois se torna escoamento base (mm)

BFP: Fator empírico, dado através de uma relação com o índice de infiltração (BII), variando entre 0 e 1 (adimensional)

ETI: Altura de evaporação diária (mm)

FB: Número de reservatórios lineares para o Escoamento Subterrâneo (adimensional)

FC: Número de reservatórios lineares em série para o canal

FS: Número de reservatórios lineares para o Escoamento Superficial (adimensional)

FT: Número de reservatórios lineares para o Escoamento Sub-Superficial (adimensional)

KAR: Coeficiente de mudança de Unidades das equações 4.19, 4.20 e 4.21 (adimensional)

KE: Fator de redução da evaporação em função da chuva (%)

KTS: Parâmetro da equação 4.24 (adimensional)

n: número de postos para a equação 4.8 (adimensional)

NC: Parâmetro da equação 4.24 (adimensional)

$\bar{P}$ : Chuva Média na Bacia (mm)

$P_{ji}$ : Chuva no posto j no dia i (mm)

PMb: Chuva média de longo período na bacia (mm)

PMj: Chuva média de longo período no posto (mm)

QA: Vazão Afluente ( $m^3/s$ )

QBE: Vazão relativa ao Escoamento Subterrâneo ( $m^3/s$ )

QE: Vazão Efluente ( $m^3/s$ )

QSE: Vazão relativa ao Escoamento Superficial ( $m^3/s$ )

QTE: Vazão relativa ao Escoamento Sub-Superficial ( $m^3/s$ )

RG: Escoamento (mm/h)

RGP: Parcela da chuva que se transforma em escoamento (mm)

RGS: Soma do Escoamento Superficial com o Escoamento Sub-Superficial (mm/h)

ROP: Fração da chuva a escoar (%)

RS: Escoamento Superficial (mm/h)

RSS: Escoamento Sub-Superficial (mm/h)

S: Volume Estocado ( $m^3$ )

SMI: Índice de umidade do solo (cm)

TB: Tempo de Detenção devido ao Escoamento Subterrâneo (h)

TS: Tempo de Detenção devido ao Escoamento Superficial (h)

TSBII: Parâmetro de Infiltração (h)

TT: Tempo de Detenção devido ao Escoamento Sub-Superficial (h)

W<sub>j</sub>: Coeficiente do Posto Pluviométrico da equação 4.9 (adimesional)

## RESUMO

Problemas relacionados a formas de uso e ocupação no solo são muito freqüentes hoje em dia, visto que, de forma geral, a agressão do homem à natureza ao longo dos anos foi impiedosa. Em particular os recursos hídricos sofreram bruscas modificações, traduzidas sob as mais diversas formas, tais como: enchentes e mudanças no regime hidrológico. O estudo dos processos hidrológicos avaliando formas de uso e ocupação no solo torna-se importante para que possa ser feito um planejamento e melhor aproveitamento dos recursos hídricos evitando-se assim, calamidades e maiores danos ao meio ambiente. Neste estudo, séries fluviométricas e pluviométricas foram analisadas estatística e graficamente, bem como através de um modelo chuva-deflúvio, visando captar as alterações sofridas pela disponibilidade hídrica de uma bacia, devido a alterações no uso do solo, ocorridas ao longo dos anos. Como objeto de estudo foram selecionadas as bacias dos Rios Paraibuna e Paraitinga, formadores do Rio Paraíba do Sul no estado de São Paulo. Estas bacias foram escolhidas por apresentarem significativas alterações em sua ocupação nas últimas décadas e também devido os dados disponíveis possuírem maior disponibilidade e confiabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Uso e Ocupação do Solo, Regime Hidrológico e Disponibilidade Hídrica.

## **ABSTRACT**

Problems related to the ways of soil use and occupation are very frequent nowadays, considering that, in the main, man has with no pain attacked nature. Particularly, water resources suffered rough changes, at different ways: overflowing and changes in hydrologic system. Hydrologic process studies that evaluate the ways of soil use and occupation become very important so as planning and better water resources use can be done and calamities and greater damage at environment can be avoided. In this study, fluviometric and pluviometric successions were statistically and graphically analyzed, as well as through a hydrological model, having in view to win the changes happened with the basin water availability, because of changes in soil use that occurred during the years. It was chosen the Paraibuna and Paraitinga River basins that form Paraíba do Sul River, at São Paulo State. These basins were chosen because they present significant changes in its occupation during the last decades and because of available data are more reliable.

**WORD-KEY:** Land Use Changes, Hydrological system, Water Yield.

## **1 INTRODUÇÃO**

O estudo dos recursos hídricos disponíveis na natureza, sua quantificação e a caracterização de seu comportamento em termos de variabilidade temporal e espacial, é essencial para permitir sua utilização necessária à sobrevivência humana. Entretanto, esta utilização se dá através do uso e ocupação do solo que, na maioria das vezes, altera o regime do rio. Os efeitos desta ocupação têm se agravado com o passar dos anos, acarretando problemas sérios, não só de ordem sócio-econômicos, mas também no que diz respeito à saúde e qualidade de vida da população.

Geralmente, enfoca-se a bacia hidrográfica como unidade de estudo para analisar efeitos hidrológicos de correntes de alterações no uso e ocupação do solo sobre a bacia ao longo do tempo, tomando-se como base para estes estudos, dados de chuva, vazão, mudanças nas características físicas entre outros. Como causa direta das mudanças que a bacia sofre com o passar dos anos, estão a disponibilidade hídrica, as secas e as enchentes. É retirada a cobertura vegetal, fator de proteção natural do ambiente, para dar lugar às mais diversas atividades, diminuindo-se assim as barreiras naturais responsáveis pela redução da velocidade e do volume de escoamento, ou seja, há uma seqüência natural dos fatores físicos da natureza e, quando ocorre, por menor que seja uma intervenção em um destes fatores, são provocadas reações as mais variadas.

Outro fator que altera as configurações naturais é o desenvolvimento urbano, que na maioria dos casos ocorre de maneira desordenada sem planejamento territorial adequado, com a

população ocupando áreas de risco e assim influenciando diretamente nas vazões naturais. Com isto, verifica-se que a falta de planejamento urbano, que inclua mapeamento das zonas inundáveis, plano diretor de recursos hídricos e sobretudo a consciência da população em geral, agrava o quadro relacionado a mudanças bruscas nas vazões naturais.

No meio rural, este tipo de problema, embora menos grave que no urbano, também tem grande importância, pois devido a exigências diferenciais para as culturas, criações em termos de tecnologia e disponibilidade de terras, desmatamento, queimadas, tratamento do solo inadequado, grande quantidade de pequenas barragens de terra que apresentam riscos de rompimento entre outros, podem ser focos causadores de mudanças nos regimes hídricos, que afetam todo o rio. Há assim uma relação direta entre causa e efeito, na cidade e no campo. O que é poluído na cidade, reflete no campo a jusante, e o que é degradado no campo, reflete nas cidades a jusante.

Há estudos que mostram que a ocupação da bacia com a substituição de florestas por diferentes tipos de uso do solo, altera todo o regime do rio. WHITEHEAD (1993), mostra estas mudanças. Em seu trabalho são apresentados estudos diversos dos impactos florestais em bacias experimentais, mostrando os principais resultados destes impactos, seja no regime de vazões médias mensais, seja na própria disponibilidade do recurso hídrico. Entretanto, de modo geral os estudos sobre impactos de alterações no uso e ocupação do solo são mais orientados para o problema de enchentes, sendo mais raros aqueles que analisam alterações no regime hídrico e na própria disponibilidade destes recursos nos rios.

Devido a todos estes fatores, surgiu o interesse em analisar os processos hidrológicos ligados ao uso e ocupação do solo, procurando avaliar os efeitos destes sobre a disponibilidade hídrica de uma bacia. Escolheu-se para tanto como estudo de caso as bacias do Rio Paraítinga e Paraibuna, formadores do Rio Paraíba do Sul, no estado de São Paulo, visto que, para as bacias destes rios existem séries fluviométricas e pluviométricas desde a década de trinta até hoje, com a bibliografia mostrando que neste período estas bacias hidrográficas, principalmente a do Rio Paraítinga, sofreram grandes desmatamentos. Deve ser destacado que, em geral, os estudos constantes da bibliografia referem-se a bacias experimentais. No presente estudo será feita a análise para uma bacia comum, que, se por um lado torna a análise mais difícil, pois não é um

experimento controlado, por outro traz o interesse em poder se conhecer situações reais, seja em termos de alteração na ocupação da bacia, seja em termos de dados disponíveis.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar o efeito de alterações no uso e ocupação do solo sobre as vazões naturais médias mensais e anuais dos rios, utilizando análises estatísticas e modelagem chuva-deflúvio.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:**

- Apresentar a evolução da ocupação e uso nas bacias selecionadas, mostrando a perda de cobertura vegetal ao longo do período, o que permite uma melhor visualização do problema;
- Com base nas séries fluviométricas e pluviométricas disponíveis nas bacias, realizar análises gráficas e estatísticas sobre as informações contidas nas séries que permitam detectar a influência ou não das alterações no uso e ocupação das bacias sobre as vazões e,
- Analisar as alterações através do modelo chuva-deflúvio denominado TUPI (HERNANDEZ,1997), escolhido por permitir a realização das análises preconizadas, atendendo aos objetivos e também pelo fato de ser conhecido e estar disponível e implantado para uso imediato. Este modelo será calibrado para os dados disponíveis das bacias e aplicado sobre toda a série pluviométrica de modo a gerar uma série fluviométrica de longo período, homogênea para a condição da bacia relativa ao período de calibragem, permitindo assim comparar a série gerada com a observada, mostrando a evolução sofrida pelas séries através de gráficos elucidativos e testes estatísticos sobre as séries geradas pelo modelo.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Introdução**

As mudanças ao longo do tempo no uso e ocupação do solo, influenciam diretamente no rendimento de água da bacia, ou seja, nas vazões naturais, e são relacionadas principalmente com o desmatamento, urbanização, tratamento do solo inadequado, queimadas, falta de plano diretor de recursos hídricos, mapas de zoneamento das áreas inundáveis, entre outros. As consequências deste processo são sentidas diretamente pela população em geral, na forma de enchentes e inundações. De acordo com LAGO (1989), frequentemente, atribui-se ao próprio homem um papel gerador de inundações, reconhecendo-se, portanto o seu caráter antrópico.

Para ter-se uma noção da situação atual da cobertura vegetal natural do território paulista, KRONKA et. al. (1993), citaram os levantamentos realizados pela FUNCATE (Fundação de Ciência e Aplicações e Tecnologia Espaciais) e o instituto florestal, feitos através de mapeamentos e processos analíticos dos diferentes tipos fitofisionômicos: mata, capoeira, cerradão, cerrado, campo cerrado, campo, vegetação de várzea, mangue, restinga e outras formações não classificadas, considerando-se a divisão do estado em Regiões Administrativas (R.A). Neste levantamento obtiveram um total de 3.330.744 ha de cobertura vegetal natural, o que representa 13,4% da área total do estado. Os valores obtidos encontram-se indicados na tabela 3.1.

TABELA 3.1: Áreas com cobertura vegetal natural no período de 1990-1992.

Região Administrativa	Tipo de Vegetação (Área em ha)										TOTAL (R.A)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Araçatuba	36.715	10.425	-	-	26.835	-	1.322	-	-	2.395	77.692
Bauru	50.161	14.502	-	11.314	30.788	-	5.403	-	-	2.491	114.649
Campinas	67.341	126.502	-	3.801	8.030	-	5.938	-	-	2.768	213.660
Litoral	845.130	133.912	1.317	-	-	-	39.515	31.609	8.054	545	1.060.082
Marília	73.666	13.860	-	5.916	14.741	1.057	7.115	-	-	6.656	123.011
Presidente Prudente	80.127	14.321	-	155	34.117	-	2.191	-	-	2.532	133.443
Ribeirão Preto	42.305	75.744	-	33.187	59.551	430	28.745	-	-	3.278	243.238
São José do Rio Preto	33.936	31.195	-	18.038	18.457	8	23.720	-	-	5.027	130.381
São Paulo	84.840	142.411	-	-	287	-	3.284	-	-	515	232.337
Sorocaba	369.687	348.224	287	1.511	15.790	339	16.356	-	-	10.638	762.832
Vale do Paraíba	157.272	72.018	329	-	-	-	98	-	-	9.702	239.419
<b>TOTAL</b>	<b>1.842.180</b>	<b>983.114</b>	<b>1.933</b>	<b>73.202</b>	<b>208.586</b>	<b>1.834</b>	<b>133.687</b>	<b>31.609</b>	<b>8.054</b>	<b>46.545</b>	<b>3.330.744</b>

FONTE: KRONKA *et al.* (1993).

LEGENDA: 1 – Mata, 2 – Capoeira, 3 – Campo, 4 – Cerradão, 5 – Cerrado, 6 – Campo Cerrado, 7 – Várzea, 8 – Restinga, 9 – Mangue, 10 – Não Classificado, 11 – Totais.

Segundo os autores, pela análise da tabela 3.1, as maiores concentrações de cobertura vegetal natural localizam-se ao sul da R.A do litoral, oeste da R.A de Sorocaba e norte da R.A do Vale do Paraíba. Nas demais regiões a cobertura vegetal remanescente, caracteriza-se pela ocorrência de distribuição descontínua.

A respeito de legislação competente que faça diminuir os abusos cometidos indiscriminadamente, VICTOR (1975), esclarece que o simples ato de criação de uma reserva ou parque, ou mesmo declaratório de utilidade pública, não são o bastante para cobrir os abusos que muitas vezes se processam nestas áreas, pois até a regularização definitiva há um longo caminho a percorrer, visto que estes atos são baixados com uma esperança de preservação, mas ficam dependentes de uma série de providências complementares que a máquina burocrática não consegue assumir, sem contar que tais assuntos na maior parte das vezes, são relegados à último plano no elenco das prioridades do governo.

A cobertura vegetal desempenha papel regulador nos processos hidrológicos e, segundo LAGO (1989), as profundas alterações nesta cobertura vegetal, com eliminação de estruturas florestais que dão lugar a agro-ecossistemas, modificam, por sua vez, a velocidade do escoamento superficial, fazendo com que as águas provenientes das precipitações escoem mais facilmente em direção a calhas de rios, desinibidas e carreando maior massa de materiais terrígenos que tenderão a depositar em áreas de declive mais reduzidas, principalmente no leito dos fluxos organizados.

### **3.2 Papel das Florestas no Regime Hidrológico**

As florestas possuem valores éticos, estéticos e funcionais de grande importância para a sociedade, pois nos fornecem diversos produtos que usamos direta ou indiretamente. Quanto aos aspectos funcionais, as florestas ajudam a manter o fornecimento de água em nossos mananciais hídricos ao longo do ano principalmente nos períodos de estiagem ou de chuvas intensas, evitando assim inundações e secas prolongadas. Quando ocorre perda da cobertura florestal, estamos perdendo parte dos benefícios fornecidos pelas florestas. Atualmente, as grandes

emissões de carbono pela queima de combustíveis fósseis como o petróleo e carvão mineral, estão sendo consideradas como um dos possíveis causadores de mudanças climáticas globais que poderão provocar alterações significativas no clima do planeta. Como as florestas também estocam grandes quantidades de carbono como madeira e matéria orgânica no solo, elas possuem um potencial para agravar as emissões - se derrubadas - ou de retirar este carbono atmosférico e reincorporá-lo através da regeneração secundária e de reflorestamentos. É fácil perceber a perturbação que o homem causa ao derrubar a floresta, interrompendo um sistema biológico praticamente fechado, no qual existe uma interação entre as comunidades vegetais e o solo. Este equilíbrio é rompido com o processo de limpeza do terreno, desmatamento, queima, destocamento, entre outros, cujas consequências no complexo edáfico (solo-organismos, matéria orgânica, movimentação de água, entre outros) vão depender da tecnologia empregada. Além dos aspectos paisagísticos, a função das florestas como reguladoras do ciclo hidrológico e do nível dos rios também merece destaque, a redução do risco de enchentes e inundações, pela redução da erosão dos solos e assoreamento dos rios. Outro importante aspecto é a preservação da biodiversidade, com a proteção de espécies da flora e da fauna ameaçadas de extinção, além dos ecossistemas naturais inteiros, como a Mata Atlântica, os manguezais e as restingas (FONSECA, 1997). A maior interceptação, bioatividade e a rede de raízes mais densas encontradas no solo florestado propiciam uma menor quantidade total de água infiltrada (REFOSCO, 1992).

MOLCHANOV (1963), descreve que as florestas melhoram a porosidade dos solos e, portanto, facilitam a infiltração da água. Nas florestas e nas cortinas de abrigo, devido ao afogamento do solo pelos sistemas radiculares e à presença da manta morta, que é simultaneamente retentora da chuva e permeável a ela, as condições favorecem a infiltração e reduzem o escoamento superficial. Segundo este mesmo autor, em bacias de área muito reduzida, o coeficiente de escoamento depende da percentagem de área florestada. Quando a área da floresta sobe de 1%, o coeficiente de escoamento desce de 0,004 – 0,06 (nas áreas florestais) ou de 0,008 – 0,010 (na área de estepes).

WHITEHEAD (1993), analisou os estudos realizados nas mais importantes bacias experimentais, com relação aos impactos florestais. Na bacia Coweta, na Carolina do Norte, o autor mostra que o desmatamento aumenta a vazão média e as taxas de pico do fluxo em cerca de

15% e que, os volumes de vazão dependem fortemente do tipo de floresta. De um modo geral, segundo os autores, as pesquisas tem indicado a importância dos tipos de método adotados para registro dos dados e da natureza do solo, pois um solo fortemente compactado tem baixa capacidade de infiltração, o qual reduz a capacidade deste, de manter o fluxo em períodos secos. Esta infiltração também pode ser reduzida, segundo eles, pela substituição no uso do solo, os quais envolvam pastagens ou construções de estradas e vilas.

É importante ressaltar aqui o trabalho desenvolvido por MOLCHANOV e IZDON (1957), citado por MOLCHANOV, (1963), que mostra um resultado contraditório em relação às conclusões citadas por WHITEHEAD (1993). Estes autores citam que a vazão anual não depende diretamente da florestação da bacia em todos os casos, entretanto a vazão anual dos rios através das florestas pode exceder o escoamento da área desarborizada devido o efeito hidrometeorológico da vegetação florestal. Este efeito inclui: aumento da precipitação devido às florestas e melhor umedecimento dos solos rodeados por florestas. RAKHMANOV (1951 e 1956) também citado por MOLCHANOV (1963), mostra uma análise similar ao considerar que quando a florestação aumenta de 20% em média, há um aumento perceptível na vazão média para cada 5% a mais de florestação. Este fato é explicado através de dados reunidos e analisados por L. M. SIDORKINA e publicados por D. L. SOKOLOVSKII (1952), citados por MOLCHANOV (1963). Pela análise os dados indicavam que a vazão total nas bacias mais florestadas é geralmente maior que as áreas menos florestadas. Contudo, o escoamento sub-superficial é muito maior no primeiro caso, reduzindo-se consequentemente o escoamento superficial.

### 3.3 Uso e Ocupação do Solo

Formas de uso do solo, agrário ou urbano, podem ser altamente desequilibradoras em relação ao comportamento das massas de água, principalmente quanto aos aspectos do escoamento. (LAGO, 1989).

As alterações sobre o uso e manejo do solo da bacia podem ser classificadas quanto: a) ao tipo de mudança; b) ao tipo de uso da superfície ou; c) a forma de alteração da superfície. Na

tabela 3.2 são apresentadas as principais classificações sobre a mudança e uso do solo (TUCCI, 1998).

**TABELA 3.2:** Classificação sobre a mudança e uso do solo

Classificação	Tipo
Mudança da superfície	<ul style="list-style-type: none"> <li>• desmatamento</li> <li>• reflorestamento</li> </ul>
O uso da superfície	<ul style="list-style-type: none"> <li>• urbanização</li> <li>• reflorestamento para exploração sistemática</li> <li>• culturas agrícolas: de subsistência, anuais e permanentes.</li> </ul>
Método de alteração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• queimada</li> <li>• manual</li> <li>• equipamentos</li> </ul>

**FONTE:** TUCCI (1998)

Segundo FRANK (1995), para o gerenciamento adequado dos recursos, é essencial ser capaz de explicar os efeitos de intervenções como a drenagem agrícola, a irrigação, a urbanização, o deflorestamento, as mudanças de práticas agrícolas, diferentes manejos dos cursos d'água, entre outros sobre o regime hidrológico. O autor também se refere a um outro aspecto do uso do solo: as intervenções nos cursos d'água particularmente das dragagens e retificações, as quais, embora não possam ser avaliadas quantitativamente, devem ser consideradas, pois também influenciam o regime hídrico. Menciona ainda, que obras deste tipo são cada vez mais comuns no estado de Santa Catarina, e se justificam pela necessidade de controle das enchentes localizadas e/ou recuperar áreas de várzea para aproveitamento agrícola. O efeito destas obras é, invariavelmente, o aumento das vazões de pico a jusante, ou seja, contribui para elevar ainda mais os coeficientes de escoamento.

O uso e ocupação do solo, tanto no meio rural quanto no meio urbano, constituem-se em um fator importante nos processos hídricos e para isso, devem sempre ser planejados de modo a não contribuir para o aumento dos danos.

HUNT (1994), citado por CORLETO (1998), ao estudar a inundação ocorrida no rio Mississippi em 1993, relatou que os endicamentos colocados para proteger extensas áreas agrícolas pouco adiantaram nesta função, o que aliados ao uso errôneo do solo, até contribuíram (pela retirada das várzeas de inundação) para o aumento do pico e permanência da inundação, sugerindo que o manejo adequado da bacia traria melhores resultados, podendo unir medidas estruturais e medidas não-estruturais.

No meio rural, FONSECA (1997), mostra os aspectos culturais da tecnologia agrícola vigente e do uso do solo que contribuem para o seu desgaste prematuro, os quais são:

- Uso intensivo de culturas monoespecíficas de alta densidade.
- Uso intensivo de fertilizantes e defensivos agrícolas.
- Falta de utilização de curvas de níveis em terrenos inclinados.
- Falta de manutenção das matas de galerias e de nascentes.
- Uso do fogo para o preparo do campo sem a devida precaução (hora, estação do ano, vento, aceiro, controle visual e organização comunitária para controle e combate em casos de fogo acidental ou proposital)
- Falta da rotação de culturas e associação de leguminosas sob a forma de adubação verde ou mesmo consórcio.
- Falta de iniciativa (em nível de mercado e de pesquisa) para o desenvolvimento de novos modelos de sistemas agro-silviculturais e agro-silvo-pastoris adequados regionalmente para a Mata Atlântica.
- Práticas inadequadas de uso de recursos florestais.
- Uso intensivo dos pastos.

Com base no exposto, deve-se buscar a compatibilização dos usos, de forma racional, garantindo a permanência das atividades sem o comprometimento da qualidade ambiental, tornando-se necessário que as diversas atividades sejam planejadas e executadas respeitando a aptidão e capacidade de uso do solo (STIMAMIGLIO, 1993).

Um dos modos de avaliar as mudanças no uso e ocupação do solo, com o objetivo de mostrar um prognóstico para os efeitos hidrológicos, é através de modelos de simulação chuva-defluvio. Segundo NANDAKUMAR (1997), este é um objetivo difícil de ser atingido, devido a muitos problemas envolvidos na determinação “correta” dos valores dos parâmetros para as condições iniciais e posteriores aos tratamentos das bacias. Neste artigo, os autores mostram os efeitos dos dados de entrada, os erros de parâmetros do modelo em fluxos simulados e investiga a viabilidade de usar um modelo chuva-defluvio para fazer um prognóstico dos efeitos hidrológicos nas mudanças de uso do solo. As conclusões mais importantes deste estudo foram:

- A chuva tem que ser calculada com precisão, pois uma tendência de 10% no cálculo da chuva pode causar uma tendência acima de 35% na estimativa do escoamento, considerando os erros no prognóstico da chuva que podem “mascarar” mudanças que poderiam, por outro lado, ser detectadas. A importância do efeito da chuva no modelo é mostrada na tabela 3.3 quando comparada, por exemplo com o coeficiente de evaporação.

**TABELA 3.3:** Proporção de floresta de Eucalipto a ser desmatada para produzir um máximo incremento no fluxo, considerando 10% de tendência na chuva e no potencial de evaporação.

Bacia	Área Desmatada (%)	
	Considerando tendência da chuva	Considerando tendência do coeficiente de evaporação
Stewarts Creek 4	23	6
Reefton 3	12	3
Black Spur 1	43	16
Blue Jacket	37	9

FONTE: NANDAKUMAR (1997)

Na tabela 3.3 é mostrado que, 43% da área da bacia teria que ser desmatada em Black Spur 1 para detectar um aumento no fluxo, considerando a presença do erro de 10% de tendência. Também é evidente que:

- a) A chuva na bacia tem que ser cuidadosamente avaliada para estimar mudanças no rendimento de bacias com altos índices pluviométricos.
  - b) Os efeitos dos erros nos coeficientes de evaporação não são tão significantes quanto os erros das chuvas.
- Pequenas mudanças de uso do solo nas bacias podem causar mudanças no escoamento que podem não ser detectáveis estatisticamente nos erros de saída do modelo. Para as bacias estudadas neste artigo, a área de cobertura florestal a ser removida para produzir uma detectável mudança (90% de significância) é em média de 6 – 65%, dependendo da bacia em questão. Isto é verificado através da tabela 3.4, ficando claro com este resultado que os erros nos parâmetros do modelo são geralmente mais significantes que os erros nos coeficientes de evaporação.

**TABELA 3.4:** Proporção de Floresta de Eucalipto a ser desmatada para produzir mudança significativamente estatística (90% de nível de significância) no fluxo.

Bacia	Área Desmatada (%)	
	Considerando erros no coeficiente de evaporação	Considerando erros nos parâmetros do modelo
Stewarts Creek 4	10	6
Reefton 3	14	22
Black Spur 1	16	28
Blue Jacket	7	65

FONTE: NANDAKUMAR (1997)

- Embora a tendência nas estimativas de potencial de evaporação não tenha tanto efeito como a chuva, a contribuição para a tendência no prognóstico do fluxo, é significante; 10% de tendência no potencial de evaporação pode causar um acréscimo de 10% na tendência para o prognóstico do escoamento.
- As tendências na evaporação, infiltração e descarga subterrânea têm um maior efeito na estimativa dos fluxos. Para evitar isto, eles precisam ser calculados tão precisamente quanto possíveis.

É de se notar nesses resultados que de bacia para bacia há grande variação na sensibilidade quanto à chuva e à calibração dos parâmetros do modelo. Disso se conclui que é necessário procurar a melhor amostragem pluviométrica possível, e dados de melhor qualidade para calibração do modelo. Além disso, efetuar estudos utilizando também outros instrumentos de análise acompanhando a modelagem chuva-deflúvio.

Conforme citado por TUCCI (1998), os modelos hidrológicos existentes podem ser utilizados para analisar os impactos de uso do solo sobre as bacias, no entanto, os resultados ainda apresentam importantes incertezas devido a diferenças de escala quando o resultado desejado envolve bacias maiores. O autor cita que a simulação do comportamento da bacia hidrográfica em diferentes estágios de alteração do uso do solo depende principalmente do seguinte: (i) da capacidade do modelo em representar os processos que atuam nas condições prévias e alteradas; (ii) de critérios adequados de estimativa dos parâmetros do modelo que influenciem de forma significativa nos resultados para as condições citadas; (iii) na independência das variáveis de entrada quanto aos cenários da bacia.

KRONKA et al. (1993) constataram mudanças no uso e ocupação do solo para o estado de São Paulo através da evolução da cobertura vegetal. Neste estudo foram comparados três períodos nos quais foram realizados levantamentos da cobertura vegetal do estado, com utilização de vários tipos de sensores remotos e diferentes procedimentos metodológicos. Segundo é citado por estes autores, BORGONOVI e CHIARINI (1965), efetuaram em 1962, o levantamento em áreas cobertas com cerrado, cerradão e campo, BORGONOVI et al. (1967), efetuaram o levantamento por fotointerpretação da cobertura vegetal de floresta natural e reflorestamento do Estado de São Paulo, com base em levantamento aéreo efetuado em 1962 e, SERRA FILHO et al. (1974), com base em levantamento aerofotogramétrico do Estado, efetuaram para o período de 1971-1973, um diagnóstico da cobertura vegetal natural, envolvendo vários tipos fitofisionômicos. Através dos resultados destes trabalhos, conforme mostra a tabela 3.5, tornou-se possível a constatação das alterações na cobertura vegetal natural do estado nos períodos de 1962, 1971-1973 e 1990-1992, para os tipos fitofisionômicos mata, capoeira, cerradão, cerrado, campo cerrado e campo.

Observa-se na tabela 3.5 que, face à metodologia empregada, os dados de 1962 são globalizados a nível estadual, os quais, de um total de 7.257.300 ha, 3.405.800 ha envolvem floresta natural, enquanto que 3.851.500 ha envolvem cerrado, cerradão e campo.

Verifica-se também pela tabela 3.5 que, quando comparados os períodos entre 1962 e 1971-1973 (período de 10 anos), houve um decréscimo de 2.863.420 ha (39,45%) e entre 1971-1973 e 1990-1992 (período de 20 anos), um decréscimo de 1.283.031 ha (29,20%). Nota-se ainda que, embora os dados indiquem uma diminuição dos índices de desmatamento, torna-se necessário esclarecer que as áreas remanescentes encontram-se em locais acidentados, de difícil acesso constituindo unidades de conservação ou áreas protegidas. Entre os períodos de 1962 e 1990-1992, que constituem o mais antigo e o mais recente levantamento efetuado de todo o estado de São Paulo, com base em aerofotografias e imagens orbitais, verifica-se que houve uma redução de 4.146.451 ha (57,13%). Ainda pela análise da tabela, segundo os autores, observa-se que as maiores reduções ocorreram nas R.A onde a vegetação remanescente já apresentava índices bastante baixos. É o caso da R.A de Bauru com 112.955 ha (51,41%), da R.A de Marília com 47.140 ha (30,17%), da R.A. de Presidente Prudente com 93.250 ha (42,01%) da R.A. de Ribeirão Preto com 409.683 ha (65,98%) e da R.A. do vale do Paraíba com redução de 81.808 ha (26,27%).

Os autores ressaltam ainda que, determinados tipos fitofisionômicos apresentam valores discrepantes na comparação dos dados dos levantamentos efetuados nos períodos de 1971-1973 e 1990-1992. É o caso por exemplo, de “mata” nas R. A de Araçatuba, Bauru e Marília. Tal situação deveu-se, provavelmente, aos procedimentos metodológicos adotados, à escala de trabalho, ao tipo aerofotogramétrico ou imagem orbital utilizadas e material cartográfico básico.

Devido a todos estes aspectos serão abordadas neste capítulo algumas das muitas formas de uso e ocupação do solo, dependendo da magnitude, que podem causar efeitos nos processos hidrológicos.

TABELA 3.5: Evolução da cobertura vegetal natural nos períodos de 1962, 1971-1973 e 1990-1992.

Vegetação	Ano	Regiões Administrativas (Áreas em ha)											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Mata	71-73 <sup>1</sup>	29.860	39.710	90.530	866.380	53.750	94.090	72.620	56.260	126.160	474.540	165.620	2.069.520
	90-92 <sup>2</sup>	36.715	50.161	67.341	845.130	73.666	80.127	42.305	33.936	85.840	369.687	157.272	1.842.180
Capoeira	71-73 <sup>1</sup>	64.770	37.650	77.410	141.280	40.130	109.560	83.320	86.910	137.910	332.430	129.720	1.241.090
	90-92 <sup>2</sup>	10.425	14.502	126.502	133.912	13.860	14.321	75.744	31.195	142.411	348.224	72.018	983.114
Cerradão	71-73 <sup>1</sup>	2.420	15.260	1.770	-	4.110	2.220	50.770	21.890	-	7.580	-	606.022
	90-92 <sup>2</sup>	-	11.314	3.081	-	5.916	155	33.187	18.038	-	1.511	-	73.202
Cerrado	71-73 <sup>1</sup>	34.300	122.210	72.730	-	57.910	12.240	364.040	49.640	-	71.920	-	784.990
	90-92 <sup>2</sup>	26.834	30.778	8.030	-	14.741	34.117	59.551	18.457	287	15.790	-	208.586
Campo	71-73 <sup>1</sup>	120	4.880	24.360	-	480	3.860	50.150	750	-	63.790	-	148.390
Cerrado	90-92 <sup>2</sup>	-	-	-	-	1.057	-	430.000	8	-	339	-	1.834
Campo	71-73 <sup>1</sup>	-	-	-	200	-	-	-	-	2.420	25.170	16.080	43.870
	90-92 <sup>2</sup>	-	-	-	1.317	-	-	-	-	-	287	329	1.933
TOTAL	62 <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	72,6.10 <sup>5</sup>
	71/73 <sup>1</sup>	1,3.10 <sup>5</sup>	2,2.10 <sup>5</sup>	2,7.10 <sup>5</sup>	10,1.10 <sup>5</sup>	1,6.10 <sup>5</sup>	2,2.10 <sup>5</sup>	6,2.10 <sup>5</sup>	21,5.10 <sup>4</sup>	2,7.10 <sup>5</sup>	9,8.10 <sup>5</sup>	3,1.10 <sup>5</sup>	44,0.10 <sup>5</sup>
	90-92 <sup>2</sup>	0,7.10 <sup>5</sup>	1,1.10 <sup>5</sup>	2,0.10 <sup>5</sup>	9,8.10 <sup>5</sup>	1,1.10 <sup>5</sup>	1,3.10 <sup>5</sup>	2,1.10 <sup>5</sup>	10,1.10 <sup>4</sup>	2,3.10 <sup>5</sup>	7,3.10 <sup>5</sup>	2,3.10 <sup>5</sup>	31,1.10 <sup>5</sup>

FONTE: KRONKA *et al.* (1993)

LEGENDA: 1 – Araçatuba, 2 – Bauru, 3 – Bauru, 4 – Litoral, 5 – Marília, 6 - Presidente Prudente, 7 - Ribeirão Preto, 8 - São José do Rio Preto, 9 - São Paulo, 10 – Sorocaba, 11 - Vale do Paraíba, 12 - Total

(1) SERRA FILHO *et al.* (1974)

(2) KRONKA *et al.* (1993)

(3) BORGONOVI e CHIARINI (1965) e BORGONOVI *et al.* (1967)

### **3.3.1 Queimadas**

Este procedimento constitui-se em um dos mais agressivos ao solo, pois destrói a matéria orgânica que é fundamental à vida dos seres vivos que vivem neste solo. Um solo rico em matéria orgânica permite uma maior infiltração de água, reduzindo o escoamento superficial. O fogo é de uso generalizado nas regiões de pastagens de São Paulo, Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais, Goiás, Paraná e outros, onde o período preferido é o final do inverno e começo do verão (agosto – setembro). Queima-se bastante, pois este processo é o mais rápido e barato para se limpar um terreno.

A ocorrência do fogo varia de forma irregular ao longo dos anos e está relacionada com períodos mais secos. Fatores sócio-econômicos, culturais e climáticos estão envolvidos neste processo de degradação, sendo necessário a adequação do uso do fogo a nossa atual realidade para que sejam preservados os remanescentes florestais e a qualidade de vida da população (FONSECA, 1997).

Segundo, TANIZAKI (1997), citado por FONSECA (1997), o uso do fogo deve ser considerado como uma política mais educativa do que punitiva, pois é um importante instrumento alternativo à falta de tecnologias agrícolas mais apropriadas, sendo utilizado principalmente pelas classes de agricultores menos favorecidas economicamente, pois de outra forma, as queimadas continuarão sendo feitas ilegal e clandestinamente sem que uma solução justa seja encontrada. Sua prevenção e combate evitarão gastos futuros com a recuperação das áreas afetadas, fazendo com que, os prejuízos financeiros sofridos pelos proprietários indiquem um forte potencial de colaboração dos mesmos no uso controlado do fogo.

No estado do Rio de Janeiro, os fragmentos de floresta que ainda restam sofrem o impacto das interferências antrópicas nas áreas de entorno, e na transição das florestas para as áreas de uso mais intenso. Os processos pelos quais a degradação opera podem ter diversas origens ou fatores que combinados ou não, podem determinar grande parte das alterações sofridas pelos remanescentes florestais. O combate ao fogo é de fundamental importância para qualquer

iniciativa de conservação e manejo dos fragmentos florestais, de modo sustentável e ecologicamente adequado (FONSECA, 1997).

### 3.3.2 Desmatamento:

Segundo TUCCI (1998), os principais elementos do desmatamento são: o tipo de cobertura no qual a floresta é substituída e o método utilizado para o desmatamento. Ainda segundo este mesmo autor, desmatamento é um termo geral para diferentes mudanças de cobertura. JORDAN (1985), citado por TUCCI (1998), definiu o desmatamento em pequeno, intermediário e alto, de acordo com o impacto que produz na mata natural.

MCCULLOCH e ROBINSON (1993), classificaram em três grupos principais os estudos experimentais utilizados para avaliar o impacto das alterações provocadas em bacias. São eles:

- a) Estudos de Correlação: Neste estudo as vazões são comparadas entre diferentes bacias com características distintas de cobertura vegetal, clima, solo e etc... Este tipo de procedimento, geralmente não resulta boas análises.
- b) Estudo com uma única bacia: Este procedimento oferece um melhor resultado que o anterior. Neste tipo analisa-se o comportamento das vazões frente as mudanças sofridas pela bacia, isto é, analisa-se as condições pré e pós desmatamento, considerando a variabilidade climática e a mudança de cobertura vegetal.

O problema deste método segundo TUCCI (1998), reside na variabilidade climática entre dois períodos (antes e depois da cobertura). Um período pode ser seco e outro úmido, o que dificulta a comparação. No entanto, é possível planejar experimentos sobre os efeitos do desmatamento de modo a eliminar estas diferenças, embora a complexidade aumente muito.

- c) Estudos experimentais com pares de bacias: Neste estudo utiliza-se duas bacias com características físicas similares, sendo que uma delas permanece inalterada, chamada de bacia de controle e a outra é sujeita a alterações, chamada de bacia experimental.

Segundo TUCCI (1998), com a retirada da floresta, os fluxos envolvidos no ciclo hidrológico se alteram, ocorrendo o seguinte:

- aumento do albedo. A floresta absorve maior radiação de onda curta e reflete menos;
- maiores flutuações da temperatura e déficit de tensão de vapor das superfícies das áreas desmatadas;
- o volume evaporado é menor devido à redução da interceptação vegetal pela retirada da vegetação das árvores;
- menor variabilidade da umidade das camadas profundas do solo, já que a floresta pode retirar umidade de profundidades superiores a 3,6m, enquanto que a vegetação rasteira como pasto age sobre profundidades de cerca de 20cm.

Com isso, este autor menciona que, com a redução da evaporação , pode-se esperar um efeito na precipitação, mas o sistema climatológico local depende muito pouco da evaporação da superfície da área, pois quando a precipitação local é dependente principalmente dos movimentos de massas de ar globais, o efeito da alteração da cobertura é mínimo.

Analizando também o impacto do desmatamento sobre o escoamento, TUCCI (1998) cita que este impacto deve ser separado de acordo com o efeito sobre a: (i) vazão média, (ii) vazão mínima e, (iii) vazões máximas. Segundo o autor, os principais aspectos que influenciam as alterações no escoamento são as seguintes:

- a) Diferenças de estado de umidade do solo
- b) Climatologia Sazonal;
- c) Diferenças de elevação;
- d) Profundidade e declividade do solo;
- e) Grau de alteração devido ao método de desmatamento;

- f) Desmatamento da bacia e,
- g) Cobertura que substitui a floresta ou vegetação natural.

O desmatamento representa uma diminuição na capacidade de infiltração de água no solo, provocando um aumento do escoamento superficial. INRA et.al., citado por QUEIROZ (1989), confirmaram este aumento experimentalmente na Guiana Francesa, onde a supressão da floresta aumenta 1,5 a 3,3 vezes o escoamento superficial. REFOSCO (1992), chegou a mesma conclusão quando constatou que na bacia do Rio Itajaí do Norte as vazões médias e mínimas aumentaram, respectivamente em 49,89% e 86,20%, enquanto que o desmatamento aumentou de 41% em 1966 para 61% em 1986, concluindo assim que, a cobertura vegetal está inversamente relacionada ao escoamento dos cursos d'água.

BRUIJNZEEL (1996), citado por TUCCI (1998), apresenta os aumentos de escoamento permanentes, após o desmatamento de florestas tropicais, de acordo com a cultura mantida. Os resultados encontram-se na tabela 3.6. Este autor cita também que, praticamente todos os resultados existentes se referem a bacias pequenas, o que dificulta o prognóstico sobre bacias grandes. Isto se deve a grande variabilidade temporal e espacial de: precipitação, solo, cobertura, tipo de tratamento do solo e prática agrícola, entre outros.

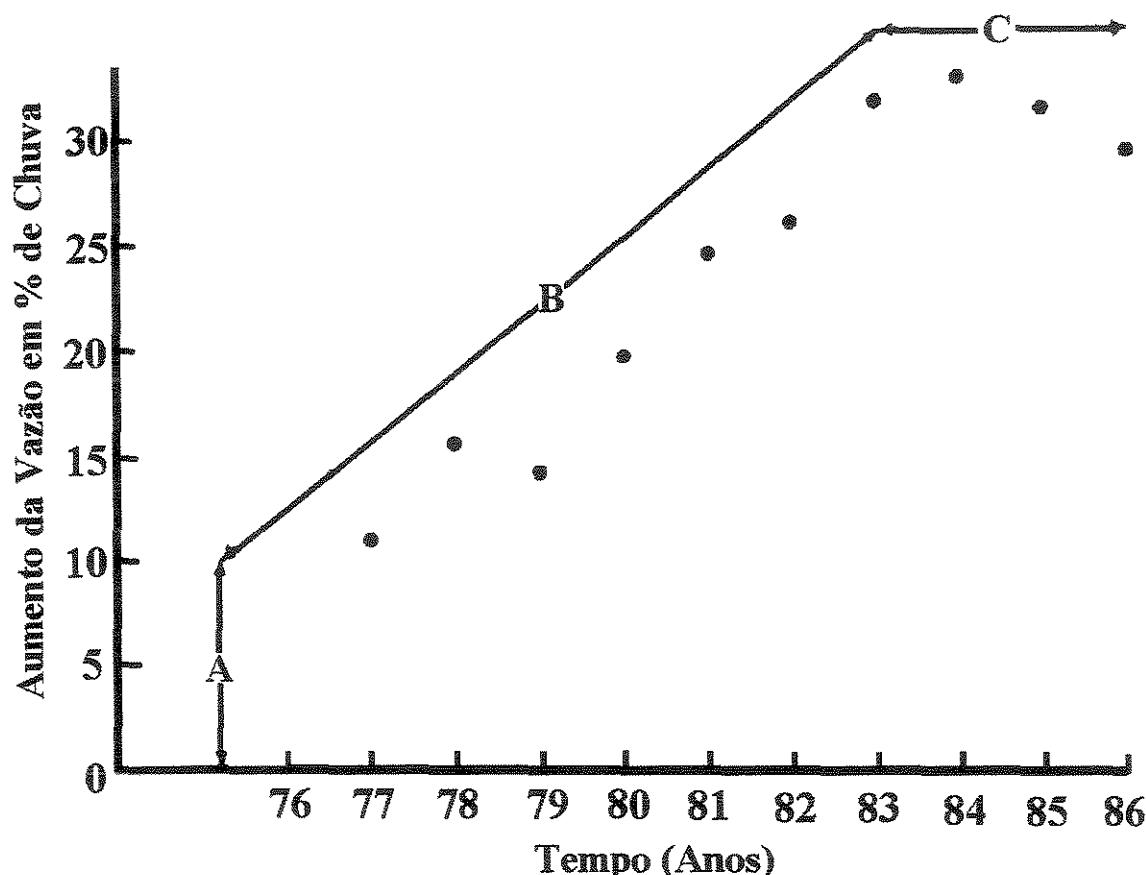
**TABELA 3.6:** Valores médios de alteração da vazão de florestas tropicais, devido ao desmatamento em função da nova cobertura.

Cultura mantida após o desmatamento	Aumento da vazão média (mm/ano)
Cultura anual	300-450
Vegetação rasteira	200-400
Plantações de chá, borracha, cacau	200-300

FONTE: BRUIJNZEEL (1996), citado por TUCCI (1998)

RUPRECHT e SCHOFIELD (1989), examinando os mecanismos de geração de vazão, em vista do total ou parcial desmatamento da bacia Wights, localizada na Austrália, apresentam três principais características da tendência de aumento da vazão anual, que são aparentes e representadas pelos períodos A, B e C da Figura 3.1. O período A representa o salto inicial na

vazão no primeiro ano após o desmatamento que foi atribuído ao imediato impacto do decréscimo da perda por interceptação, aumentando a recarga para o intermitente sistema sub-superficial e consequentemente provocando um aumento do escoamento superficial; o período B mostra um aumento relativamente linear da vazão para os seis anos seguintes, que é atribuída pela expansão de descarga do sistema subterrâneo permanente que foi evidenciado por uma boa correlação entre a área de descarga subterrânea e o aumento da vazão, e por último o período C representa o novo equilíbrio hidrológico, no qual a bacia foi ajustada as mudanças na vegetação. É importante ressaltar que o período de dados analisados neste estudo foi de 10 anos (1977-1986), considerando-se três anos anteriores que foram admitidos para a calibração (1974-1976). O autor menciona a possibilidade de utilização de mais anos de dados, para verificar esta nova vazão de equilíbrio.



**FIGURA 3.1 – Tempo de tendência do aumento da vazão para a bacia Wights**  
**FONTE:** RUPRECHT, J.K.

Estes mesmos autores apresentam a relação chuva-vazão, para dois períodos: 1974-1976 (pré-tratamento) e 1982-1986 (pós-tratamento). No primeiro período a regressão indica que o escoamento zero aconteceria para uma chuva anual de até cerca de 800mm/ano, e para o segundo período indica que este mesmo escoamento zero aconteceria para uma chuva anual de até 400mm/ano, que é significantemente abaixo da situação referente ao período anterior ao desmatamento e também bem abaixo da chuva anual mínima registrada na área que foi de 605mm/ano. Além disso, para chuvas anuais baixas (a média da região está entre 800-1200mm), significantes vazões ocorrem, o que pouco provavelmente ocorreria na área arborizada.

Embora o valor de 800mm/ano seja alto, para que não haja escoamento, o autor não faz qualquer comentário explicando ou justificando os valores. Este valor deve-se, provavelmente, a vegetação florestal na área estudada, que é bem fechada e aliada com áreas pantanosas que retém a água que se perde por evaporação.

WILLIAMSON et al. (1987) calcularam para estas mesmas bacias, o decréscimo na interceptação, o aumento na vazão e no escoamento superficial direto, após o desmatamento e o estabelecimento da atividade agrícola. O decréscimo na interceptação, foi calculado como sendo 13% da chuva, mostrando que este valor pode ser resultado do direto e imediato aumento na recarga do sistema subterrâneo. O escoamento superficial direto aumentou de 4 para 16% da vazão total, usando para esta estimativa a técnica da separação linear nos hidrogramas entre o começo e o fim do intervalo dos hietogramas de chuva, analisando pré e pós-desmatamento (para os anos de 1974 e 1983). E por fim, o maior e mais imediato efeito do desmatamento ocorreu nas altas chuvas da bacia (1120mm/ano), onde a vazão aumentou de um fator da ordem de 3.8, equivalente a cerca de 230mm/ano adicionais nas chuvas. Isto é, a média da vazão era cerca de 10% da chuva antes do desmatamento, mas aumentou para cerca de 30% nos anos pós-desmatamento, com o estabelecimento da agricultura. Assim, RUPRECHT e SCHOFIELD (1989) concluíram que o desmatamento teve um efeito imediato na perda por interceptação, na evaporação e um efeito rápido no conteúdo de água do solo, fazendo com que qualquer aumento no escoamento superficial associado a estas mudanças hidrológicas seja rápido também.

SAHIN (1996), cita que, estudos realizados com bacias experimentais trazem resultados satisfatórios em termos de análise de processos hidrológicos afetados pelas mudanças implementadas no uso do solo, resta ainda uma diversidade enorme de linhas de pesquisa que podem ser aplicadas em planejamento de recursos hídricos, como por exemplo estudo de rendimento de água na bacia, as quais podem responder por muitas mudanças na bacia. Muitas discussões são feitas na generalização de resultados anteriormente publicados . Neste artigo os autores compilaram dados de 94 bacias experimentais fornecidos por BOSCH e HEWLETT (1982) e descreveram o tipo de cobertura vegetal e as condições da bacia antes do tratamento. Selecionaram variáveis independentes que incluem: precipitação média anual, elevação média acima do nível do mar, evaporação potencial média anual, área da bacia e percentagem da bacia que foi alterada, todos em média utilizando períodos acima de cinco anos após o tratamento, onde foram exploradas as possíveis relações das mudanças no rendimento anual de água com estas variáveis independentes selecionadas, analisando os efeitos do desmatamento e reflorestamento. O resultado global mostra que, para 100% de desmatamento, sem dúvida o maior aumento do rendimento de água foi obtido para floresta do tipo conífera (330mm). Na floresta que produz madeira-de-lei, onde a precipitação média anual é menor que 1500mm, e na floresta mista (associação de floresta tipo conífera com floresta que produz madeira-de-lei) mostraram um aumento de 200-215mm, similar a redução anual do rendimento obtida com o reflorestamento na caatinga-cerrado. Na associação de floresta de Eucalipto com floresta que produz madeira-de-lei, cuja precipitação média anual é maior que 1500mm, mostra-se um aumento de 170-180mm e, somente o desmatamento na caatinga-cerrado mostra um aumento menor que 100mm para mudança de 100% da cobertura.

Os dados publicados por BURGER (1954) citado por MOLCHANOV (1963), mostram determinações diretas de escoamento superficial em duas áreas na Suíça: Sperbel que se constitui em uma área totalmente florestada e a área de Rappen-Greben, que atinge somente 1/3 de área florestada. O solo tem 50-200cm de profundidade e assenta sobre uma camada de rocha impermeável. A área da parcela florestada (em Sperbel) é de 35,8 ha, com declive de 40-63%, e a área da parcela parcialmente florestada (Rappen) é de 51,20 ha, com declive 34-37%. O florestamento em Sperbel é de 99%; em Rappen é de 31%, consistindo o restante em terra lavrada e prado (5%), e pastagem (64%). Em Rappen, a precipitação média anual (num período de 10

anos) é de 1648mm; em Sperbel é de 1555mm (floresta). Em Sperbel, o escoamento superficial no período de maior umidade totalizou 50%, contra 44% no período mais seco, enquanto que os valores correspondentes em Rappen foram 62% e 54%. A diferença de escoamento entre a área totalmente florestada de Sperbel e a de Rappen (com 1/3 de florestamento) mostrou ser menor em anos secos que em anos de precipitação abundante. As determinações diretas de escoamento superficial mostram que não há escoamento em florestas com cortes seletivos mesmo com declive de 35-48%, enquanto que nas terras sujeitas a pastoreio, onde o solo é compacto, o escoamento atinge 50-60% mesmo em declives pequenos (5%). Foram obtidos números semelhantes depois da rega de pastagens alpinas em solo compacto, com 45% de declive, onde o escoamento superficial atingiu 78%; por outro lado, pastagens que não tinham sido utilizadas durante 7 anos apresentaram somente 12% de escoamento.

Outro experimento realizado por COLMAN (1935) citado por MOLCHANOV (1963) na estação experimental de Coweta, Carolina do Norte, mostra como o escoamento sofreu alteração após a vegetação florestal ter sido totalmente abatida em determinada área, sendo 1/3 desta área, utilizada para cultura de cereais e o restante para o uso de pastagens. Durante os dois primeiros anos, o escoamento total alterou-se na bacia de recepção, embora o solo ficasse praticamente no mesmo estado em que se encontrava antes do corte, mas no terceiro ano a estrutura do solo modificou-se, destruindo-se os agregados e ficando o solo mais compacto e a água acumulando-se à superfície, começando a correr torrencialmente pelas vertentes, causando processos erosivos. Os máximos das grandes cheias aumentaram 10 vezes mais nas chuvas médias depois do abate.

Analizando as alterações que a retirada de cobertura florestal provocava no escoamento superficial, KOSTYUKEVICH (1955) citado por MOLCHANOV (1963), propõe que uma bacia hidrográfica deve ser florestada seletivamente, sugerindo que, junto as nascentes a florestação deve ocupar 40%; na zona média, 20% e, na zona inferior 10% (nunca menos que esse valor). Segundo o autor, procedendo-se assim o escoamento superficial é completamente transformado em escoamento sub-superficial e evita-se a erosão.

No Brasil, o trabalho de FUJIEDA (1997), realizado na área montanhosa da Serra do Mar com cobertura florestal (Laboratório hidrológico da Floresta de Cunha), constituiu-se em medir o

escoamento superficial através de eventos de chuva registrados entre Novembro de 1982 e Outubro de 1983. Durante este período o escoamento superficial total foi de apenas 0,61% da chuva total. A taxa de escoamento superficial mensal variou de 0,0% a 1,55% da chuva, dependendo da chuva e das condições de umidade do solo, sendo que a maior taxa de escoamento superficial (4,0%), ocorreu na estação chuvosa sob uma alta intensidade de chuva. A intensidade mínima de chuva requerida para ocorrência de escoamento superficial foi de 10mm/h. Segundo os autores, o resultado de Cunha, sugere que o escoamento superficial de uma bacia de floresta sem perturbações acontece raramente até mesmo depois de uma chuva forte, porque a permeabilidade da terra com uma grande superfície de floresta excede a intensidade de chuva. Estes autores citam que a condutividade hidráulica saturada de áreas montanhosas é da ordem de 4.0 a  $7.0 \times 10^{-3}$  cm/s. Isto significa que quase toda a água que cai no chão de floresta entra nas camadas de terra e é armazenada no solo. Com isto é concluído que o escoamento superficial de áreas montanhosas não é um processo importante em uma bacia arborizada.

A história das derrubadas em São Paulo inicia-se em meados de 1766, mas em pequena escala, pois só foram atingir um ritmo maior mais tarde com a expansão da cultura cafeeira, a partir da segunda metade do século XIX. O café entra em São Paulo se firmando pelo Vale do Paraíba em 1836, proveniente do Rio de Janeiro, caminhando depois para a capital, e é depois neste período que, para agravar o quadro, a madeira proveniente do desmatamento, em sua quase totalidade, é queimada ou abandonada, não tendo a menor utilização econômica. Em 1896, foi criado o Horto Botânico de São Paulo que, em 1909 transforma-se em Horto Botânico e Florestal. A princípio este dedica-se quase que exclusivamente ao estudo sistemático da flora lenhosa, mas a partir de 1898 é ativado para que pudesse atuar na conservação, melhor aproveitamento das florestas e sobretudo promover o reflorestamento. Somente em 23 de janeiro de 1934, é criado o primeiro Código Florestal do Brasil, mas a rigor só começa a ser executado no Estado em 1943, quando houve um grande empenho governamental pela estruturação do serviço florestal. Com o advento da Lei de Terras em 1945, que passou a funcionar como fator estimulante ou inibidor das derrubadas em decorrência certamente da capacidade de uso do solo em cada caso específico. Já na década de 70, com o surgimento das ferrovias agrega-se mais um fator para acelerar a dilapidação do patrimônio florestal, que além de usar a madeira como combustível, aproveita-a como dormentes, postes e moirões, deixando-se claro que, de início usa-se o carvão mineral

importado, como combustível, mas devido à baixa de câmbio e seu consequente encarecimento a substituição pela lenha e carvão vegetal é imediata (VICTOR, 1975).

Conforme ALMEIDA (1996), citado por FONSECA (1997), nos anos de 1976 e 1988, com uma taxa de desmatamento consideravelmente elevada - em torno de 25.000 Km<sup>2</sup>/ano, a produção de madeira nos estados do sul e sudeste do Brasil caiu de 51 milhões para 7,9 milhões de m<sup>3</sup>, o que equivale a uma queda na produção nacional de 47% para 17% levando a migração dos setores madeireiros para a região Amazônica e o Sul da Bahia. Na Bahia, as plantações de cacau foram substituídas pela atividade madeireira, mostrando assim que, entre os anos de 1971 e 1981 a Mata Atlântica sul-baiana foi reduzida a aproximadamente 20 % de seus 11 mil Km<sup>2</sup> originais, de acordo com MESQUITA (1996), citado por FONSECA (1997). Na tabela 3.7, apresentam-se as taxas de desmatamento e regeneração da Mata Atlântica entre os anos de 1985 e 1990.

**TABELA 3.7 - Taxa de desmatamento e de regeneração da Mata Atlântica entre os anos de 1985 e 1990. Valores em km<sup>2</sup>.**

Estado	Desmatamentos 1985/90	Regeneração 1985/90
RJ	30	2.7
ES	19	0.4
SP	62	0.5
MG	48	1.1
PR	144	0.5
SC	99	0
RS	49	0.1
<b>TOTAL</b>	<b>500</b>	<b>5.3</b>

FONTE: Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, citado por FONSECA (1997).

Segundo, VICTOR (1975) a devastação une-se a outras formas de exploração indevida dos recursos naturais que, com a falta de planejamento territorial, geradora de uma ocupação fundiária desordenada, provoca um quadro caótico de deterioração ambiental, visto que alguns sistemas ambientais estão próximos de um colapso, frutos da exagerada pressão que o número de

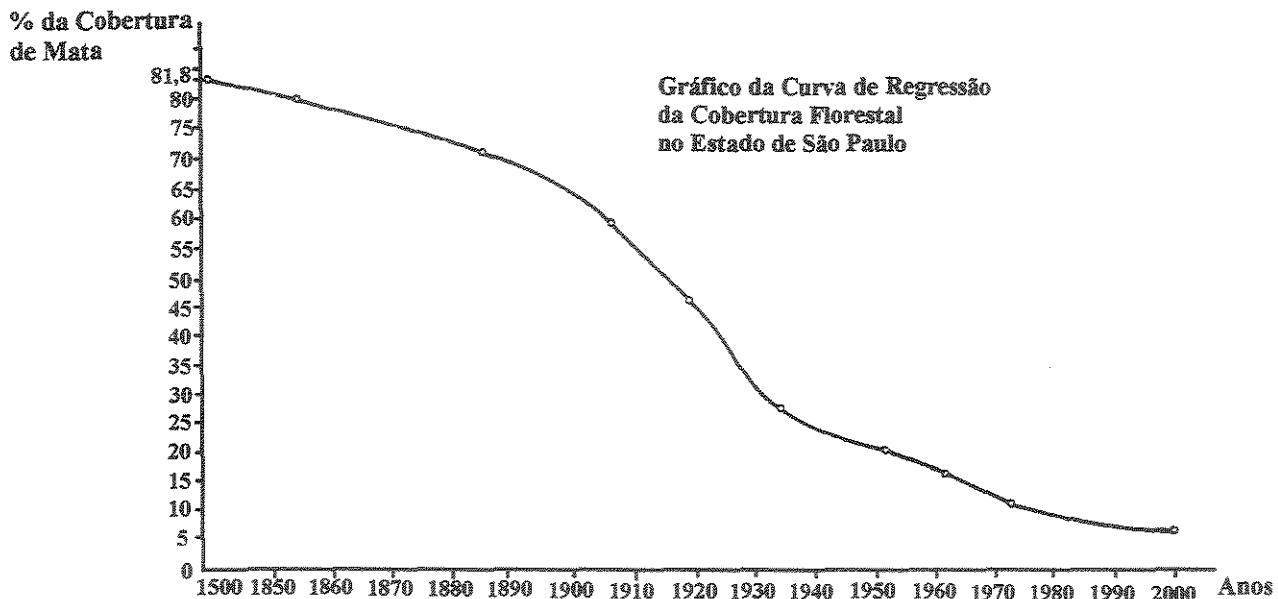
habitantes exerce sobre os recursos naturais e o meio ambiente, resultando em decréscimo da qualidade de vida da comunidade.

Dados apresentados por este autor em relação à evolução histórica da cobertura vegetal no estado de São Paulo, encontram-se resumidos na tabela 3.8. A figura 3.2 apresenta a curva de regressão dessa evolução.

**TABELA 3.8 - Evolução de perda de cobertura vegetal no Estado de São Paulo.**

Período	Situação
1º) Vegetação Primitiva (Início do Séc. XIX)	81,8% correspondente a 20.450.000ha
2º) Até 1856	Foram desmatados cerca de 510000ha
3º) Até 1886	Foram desmatados cerca de 2.800000ha
4º) Até 1907	Foram desmatados cerca de 5.960.000ha (Cerca de 58% de mata primitiva)
5º) Até 1920	Possui cerca de 11.200.000ha (Cerca de 45% de mata)
6º) Até 1935	Possui cerca de 6.550.000ha (Cerca de 26,2% de mata)
7º) Até 1952	Possui cerca de 4.600.000ha (Cerca de 18,2% de mata)
8º) Até 1962	Possui cerca de 3.425.800ha (Cerca de 13,7% de mata)
9º) Até 1973	Possui cerca de 2.069.920ha (Cerca de 8,33% de mata)
10º) Ano 2000	Previsão de 2 a 3% das matas primitivas

FONTE: Adaptado de VICTOR, M. A. M. A (1975).



**FIGURA 3.2 – Gráfico da Curva de Regressão da Cobertura Florestal do Estado de São Paulo**  
**FONTE:** VICTOR, M. A. M.

Na tabela 3.8, segundo o autor, verifica-se que a vegetação primitiva do estado de São Paulo cobria 81,8% da área do estado e que, segundo previsão para o ano de 2000, só existiriam de 2 a 3% das matas primitivas, isto é, quase uma total devastação na visão deste autor.

FONSECA (1997), mostra um estudo sobre a Mata Atlântica, onde, desde o descobrimento do Brasil houve diversos ciclos econômicos de extração e cultivo de inúmeras espécies comerciais que contribuíram para a perda desta cobertura florestal. Dados da extração do Pau-Brasil datam de meados do século XVI, e desde então foram feitas retiradas de matas praticamente sem restrições por mais de quatro séculos. Conforme é citado neste estudo, os dados da produção interna de energia, revela um intenso uso de lenha na década de 40 - 60 deste século, que foi responsável pelo abastecimento de 75% da energia consumida pelas indústrias brasileiras. Nesta época, justamente no período de crise do petróleo e da 2º Guerra Mundial, o parque industrial brasileiro estava em franco desenvolvimento e a energia mais barata e acessível era a lenha. Este autor mostra os dados de desmatamento nas regiões Sudeste e Sul de 1900 até 1990, que são apresentados na tabela 3.9. Estes dados indicam uma taxa extremamente elevada entre os anos de 40 - 60, com mais de 400.000 Km<sup>2</sup> de Mata Atlântica desmatados somente nestes 20 anos.

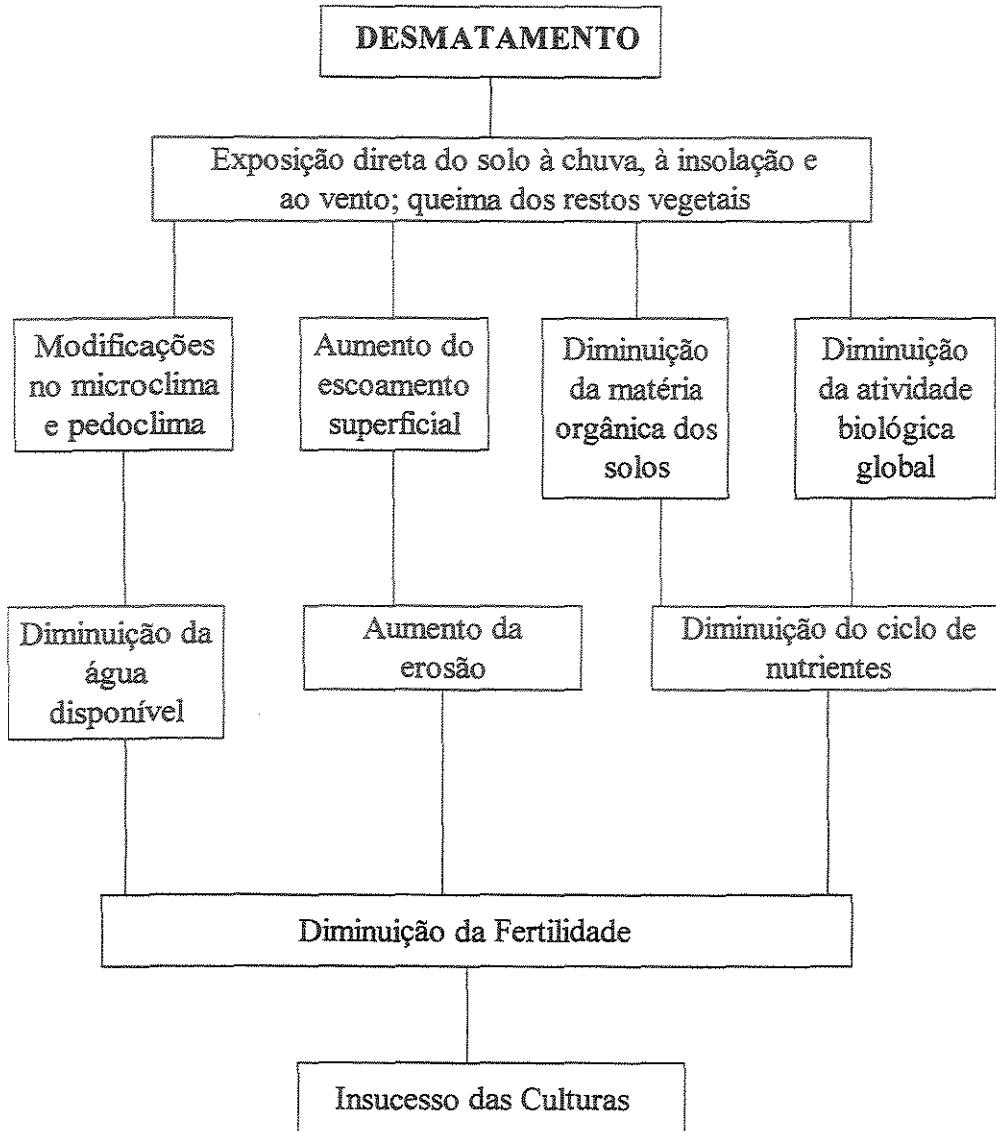
**TABELA 3.9 - Taxa de desmatamento histórico na Mata Atlântica. Valores em  $10^3$  km $^2$ .**

Estado	1900/20	1921/40	1941/60	1961/80	1981/90
RJ	7.1	-	-	26.1	0.8
ES	10.1	-	16.2	7.4	2.2
SP	64.2	46.5	20	24.7	3.4
MG	24.9	-	207.9	12.7	49.2
PR	2.7	47.1	48.9	35.1	19
SC	2.7	-	46.4	-	13.3
RS	-	13	72	1.6	18.8
<b>TOTAL</b>	<b>112</b>	<b>107</b>	<b>411</b>	<b>108</b>	<b>107</b>

FONTE: Fundação SOS Mata Atlântica/INPE, citado por FONSECA, 1997

A partir de GOODLAND e IRWIN (1975), QUEIROZ (1989), elaborou a figura 3.3, que expressa, as modificações e as consequências para o homem das intervenções sobre as coberturas florestais primitivas, mostrando as sérias consequências que são trazidas pelo desmatamento indiscriminado. O autor entretanto não apresenta elementos que comprovem o que a figura mostra, sendo este diagrama apenas qualitativo, sendo discutível as ocorrências de mudanças.

Um dos efeitos causados pela devastação é o aumento da erosão. No Estado de São Paulo os efeitos da erosão têm seus valores críticos na bacia hidrográfica do Vale do Paraíba, região central e noroeste, envolvendo cerca de 4 milhões de hectares. Estudos do Instituto Agronômico de Campinas, indicam que um terreno recoberto de mata perde apenas cerca de quatro quilos de terra por hectare, e por ano, um terreno semelhante, recoberto de pastagem, perde cerca de 700 quilos e outro, recoberto de algodão, perde cerca de 32.000 quilos na mesma área e no mesmo período. Assim, quando um terreno cultivado com algodão, perderia em apenas 60 anos os 15 centímetros que constituem em média a camada viva de seu solo superficial; quando revestido de pastagem levaria 2.500 anos para sofrer o mesmo desgaste e, finalmente, quando recoberto de mata virgem somente em cerca de 400000 anos perderia a espessura da camada (VICTOR, 1975).



**FIGURA 3.3:** Modificações da Cobertura Vegetal florestal e suas consequências (organizado a partir de Goodland e Irwin, 1975).

**FONTE:** QUEIROZ, J.P. de. (1989).

STIMAMIGLIO (1993), citou no projeto de recuperação de áreas de mananciais em Joinville, que a retirada da cobertura vegetal constitui-se em um dos principais problemas de uso dos recursos naturais em regiões de mananciais, pois o solo descoberto sofre o efeito erosivo das fortes chuvas, freqüentes na região, causando uma série de problemas, iniciando com o carreamento de partículas de solo e restos vegetais para os cursos d'água. O material depositado nas calhas e fundos dos cursos d'água provoca o assoreamento e a diminuição da capacidade de vazão dos rios, aumentando o risco de inundações.

Assim, verificamos que a perda da cobertura vegetal primitiva tornou-se um fato preocupante, visto que, o homem modificou de forma agressiva esta cobertura vegetal, provocando efeitos adversos nos recursos hídricos.

### 3.2.3 Reflorestamento

Segundo GALETI (1975), o reflorestamento artificial teve origem na Alemanha no século XIV. Em 1368 fazia-se o primeiro plantio de pinheiros , cedros e abetos nas proximidades da cidade alemã de Nuremberg. Nos U.S.A, o movimento só teve início por volta de 1750 e, na França inicio-se no século XIX. O Brasil, em bases técnicas, participou por volta de 1904, quando começou-se em escala comercial o plantio de eucalipto, no Horto Florestal da Companhia Paulista de Estradas de Ferro na cidade de Rio Claro, em São Paulo, que segundo VICTOR (1975), estava apenas preocupada com o distanciamento cada vez maior das fontes de abastecimento de madeira.

O objetivo do reflorestamento segundo CHIARINI (1969), é para revestimento arbóreo artificial, quer para fins industriais, quer para proteção das cabeceiras de erosão, quebra-ventos, finalidades paisagísticas, entre outros.

PEREIRA (1973), apresenta a importância do reflorestamento nos processos hidrológicos, mostrando a reabilitação e o desenvolvimento destes processos juntamente com o do solo. As observações foram realizadas no Vale do Tennessee, que foi agredido por derrubadas, uso do solo para a agricultura, queimadas, entre outros, durante muitos anos. Neste estudo, o ano inicial de registros de dados é o ano de 1941, tendo sido tomado os anos de 1941 – 1945 para a calibração e caracterização do comportamento do fluxo para a condição erodida do vale. O reflorestamento começou em 1946. O escoamento foi reorganizado suavemente ao longo das inclinações por meio de drenos e sulcos perfilados e na área inteira foram plantados pinheiros. Hidrologicamente, os resultados foram surpreendentes: foram eliminadas as inundações e erosão de terra, com as árvores usando metade do fluxo de água; o pico de enchente reduziu 90%, enquanto que a carga

de sedimentação diminuiu 96%. Com isso, as águas barrentas foram substituídas por uma quantidade de água limpa com fluxo controlado.

Qualquer tipo de vegetação pode servir para o reflorestamento, desde que este coberto seja suficientemente espesso para abrigar o solo da ação das chuvas, permitindo a infiltração da água mas evitando o escoamento superficial. O reflorestamento traz benefícios relacionados à erosão do solo, pois quando a cobertura tem uma densidade de 0,3-0,4, o valor da erosão é de cerca de 230m<sup>3</sup>/ha; quando a densidade sobe a 0,5-0,6, a erosão baixa para 125 m<sup>3</sup>/ha e quando a densidade é de 0,7-0,8, a erosão não ultrapassa 50 m<sup>3</sup>/ha (MOLCHANOV, 1963). Portanto a composição do solo reflorestado é de grande importância neste processo de interceptação, pois caso contrário a precipitação pode causar a erosão e a destruição do solo.

No caso específico da erosão provocada pela água, GALETI (1975) cita três níveis onde as árvores protegem o solo. São eles:

- em nível de copada, onde verifica-se uma interceptação das gotas de água;
- em nível de superfície do solo, onde a serrapilheira (folhas, ramos, frutos) derrubada sobre o solo amortece a queda das gotas de água, diminuindo o choque e dificultando o caminhamento da água sobre o solo, dando mais tempo para que se infiltre;
- no interior do solo, onde se dá um enriquecimento em matéria orgânica, tornando-o poroso, capaz de absorver e reter grande quantidade de água.

CHIARINI, 1969 cita que no estado de São Paulo, o reflorestamento com *eucalyptus* spp. é mais frequente, destacando-se geralmente nas regiões mais densamente povoadas (sudeste do estado), onde a infra-estrutura e a indústria favorecem o empreendimento.

KRONKA et al. (1993), mostram o levantamento qualitativo e quantitativo do reflorestamento em São Paulo, em termos de mapeamento das áreas em nível de gênero, bem como dados sobre as espécies, idade, condições de manejo e situação patrimonial. Este levantamento foi efetuado observando-se a divisão do estado em regiões administrativas. Este levantamento permitiu chegar a um total de 812.523,32 ha reflorestados, o que representa 3,27%

da área total do estado. Estes mesmos autores mostram melhor estes resultados através da tabela 3.10, onde, do total reflorestado, 610.544,02 ha correspondem aos plantios com gêneros de Eucalyptus; 194.054,23 ha de Pinus e 7.925,07 ha de outros. Neste último grupo estão englobados espécies dos gêneros Araucaria, Cryptometria, Cunninghamia, Cupressus e outros com áreas não expresivas.

Estes mesmos autores acima citados apresentam a evolução do reflorestamento no estado de São Paulo através da tabela 3.11. Pela análise desta tabela, verifica-se que nos períodos considerados, o aumento significativo das áreas reflorestadas, ocorreu entre 1962 e 1971-1973, com um incremento da ordem de 279.730 ha (79,3%). Este fato segundo os autores refere-se, fundamentalmente, aos Incentivos Fiscais para reflorestamento.

KRONKA et al. (1993), mostram a evolução do reflorestamento especificadamente na região do Vale do Paraíba, onde compararam os resultados do levantamento de 1991-1992 com os efetuados por:

- ZONEAMENTO ECONÔMICO FLORESTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (1975), dos quais 37.600 ha (5,9%) situavam-se na região do Vale do Paraíba.
- OGAWA et al. (1983), em que o reflorestamento foi estratificado por grupos de espécies, classes de idade, diferentes usos e origem dos recursos para sua implantação. Foram levantados 53.014 ha de reflorestamento, correspondentes a 3,67% da área da região do Vale do Paraíba.

**TABELA 3.10:** Áreas Reflorestadas com Pinus, Eucalyptus, e outros no Estado de São Paulo em 1991 – 1992.

Região Administrativa	Gêneros (Área em ha)				
	Eucalyptus	Pinus	Outras	Total	(%)
Araçatuba	1.009,80	435,55	-	1.445,35	0,2
Bauru	53.032,04	20.972,75	122,97	74.127,76	9,1
Campinas	92.466,44	12.277,45	64,50	104.808,39	12,9
Litoral	6.296,73	5.355,84	-	11.652,57	1,4
Marília	4.196,73	3.789,96	222,38	8.209,07	1,0
Presidente Prudente	2.390,65	7.782,41	-	10.173,06	1,2
Ribeirão Preto	90.227,28	4.884,85	191,36	95.303,49	11,7
São José do Rio Preto	2.645,34	79,95	3,52	2.728,81	0,3
São Paulo	51.939,05	8.188,55	2.137,76	62.265,36	7,6
Sorocaba	235.583,19	119.656,50	4.887,48	360.117,17	44,3
Vale do Paraíba	70.756,77	10.630,42	305,10	81.692,29	10,1
<b>TOTAL</b>	<b>610.544,02</b>	<b>194.054,23</b>	<b>7.925,07</b>	<b>812.523,32</b>	<b>-</b>

FONTE: KRONKA et al. (1993)

**TABELA 3.11:** Evolução do reflorestamento no estado de São Paulo nos períodos de 1962, 1969, 1971-1973 e 1991-1992.

Gênero	Período (Área em ha)			
	1962 <sup>1</sup>	1969 <sup>2</sup>	1971-1973 <sup>3</sup>	1991-1992 <sup>4</sup>
Pinus	17.200,00	102.100,00	142.070,00	194.054,23
Eucalyptus	335.700,00	510.900,00	490.560,00	610.244,02
<b>TOTAL</b>	<b>325.900,00</b>	<b>612.000,00</b>	<b>632.630,00</b>	<b>804.598,25</b>

FONTE: KRONKA et al. (1993)

**LEGENDA:**

- (1) BORGONOVIA et al. (1967)
- (2) Programa florestal do estado de São Paulo (1970)
- (3) Zoneamento econômico Florestal do estado de São Paulo (1975)
- (4) KRONKA et al. (1993)

As tabelas apresentadas a seguir mostram que a região do vale do Paraíba, nos três períodos em questão, foi a mais expressiva quando comparada com as demais regiões do estado de São Paulo. A tabela 3.12, mostra que no período de 1971-1973 e 1978, houve um incremento da ordem de 15.414 ha (41%) e entre 1978 e 1991-1992 de 28.678,29 ha (54,1%). Nestes períodos considerados, o incremento ocorrido deveu-se basicamente, aos plantios com espécies de Eucalyptus, conforme mostra a tabela 3.13.

As tabelas 3.12 e 3.13, mostram a região em que as sub-bacias estudadas estão englobadas. Apresentou-se estes dados gerais devido a ausência de dados específicos para as áreas estudadas, mostrando assim uma visão qualitativa do reflorestamento.

**TABELA 3.12:** Dados comparativos do reflorestamento na Região do Vale do Paraíba, nos períodos de 1971-1973, 1978 e 1991-1992.

Sub-Regiões	Período (Área em ha)		
	1971-1973 <sup>1</sup>	1978 <sup>2</sup>	1991-1992
São José dos Campos <sup>3</sup>	33.600	19.421,00	30.198,57
Taubaté <sup>4</sup>	-	19.703,00	20.522,06
Guaratinguetá <sup>5</sup>	4.000,00	13.890,00	30.971,66
<b>TOTAL</b>	<b>37.600,00</b>	<b>53.014,00</b>	<b>81.692,29</b>

FONTE: KRONKA et al. (1993)

**LEGENDA:**

- (1) Zoneamento Econômico Florestal do Estado de São Paulo (1975)
- (2) OGAWA et. al. (1983)
- (3) São José dos Campos, Campos do Jordão, Igaratá, Jacareí, Jambeiro, M. Lobato, Paraibuna, Santa Branca, Santo Antônio do Pinhal e São Bento do Sapucaí.
- (4) Taubaté, Caçapava, Natividade da Serra, Pindamonhangaba, Redenção da Serra, São Luís do Paraitinga e Tremembé.
- (5) Guaratinguetá, Aparecida, Areias, Bananal, Cachoeira Paulista, Cruzeiro, Cunha, Lagoinha, Lavrinhas, Lorena, Piquete, Queluz, Roseira, São José do Barreiro e Silveiras.

**TABELA 3.13:** Plantio com espécies de Pinus e Eucalyptus na R.A do Vale do Paraíba, nos períodos de 1971-1973, 1978 e 1991-1992.

Espécie	Período (Área em ha)		
	1971-1973 <sup>1</sup>	1978 <sup>2</sup>	1991-1992 <sup>3</sup>
Pinus	-	7.724,00	10.630,42
Eucalyptus	-	44.926,00	70.756,77
<b>TOTAL</b>	<b>37.600,00</b>	<b>52.650,00</b>	<b>81.387,19</b>

FONTE: KRONKA et al. (1993)

**LEGENDA:**

- (1) Zoneamento Econômico Florestal do Estado de São Paulo
- (2) OGAWA et. al. (1983).
- (3) KRONKA et. al. (1993).

### 3.3.4 Urbanização

Embora este seja um processo de grande importância em termos de efeito do uso da terra sobre o regime hidrológico, serão apresentados apenas alguns aspectos básicos, visto que, este tópico não é foco do trabalho e também devido as bacias selecionadas para o estudo, não possuírem significativas concentrações urbanas.

O processo de urbanização, traz profundas modificações no uso do solo, que por sua vez inserem alterações permanentes nos processos de infiltração e drenagem das áreas urbanizadas (GRIGG,1979).

TUCCI (1997), mostra através da tabela 3.14, as causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas, concluindo que os problemas decorrentes desses processos referem-se principalmente ao aproveitamento de recursos hídricos, controle de poluição e controle de inundações, sugerindo ainda que soluções eficientes e sustentáveis para esses problemas são aquelas que atuam sobre as causas e abrangem todas as relações entre os diversos processos.

Devido ao crescimento acelerado e sem planejamento das populações urbanas nas últimas décadas, foram citados por TUCCI (1997), vários fatores que trazem como consequência, alterações no regime hídrico das vazões naturais. São eles:

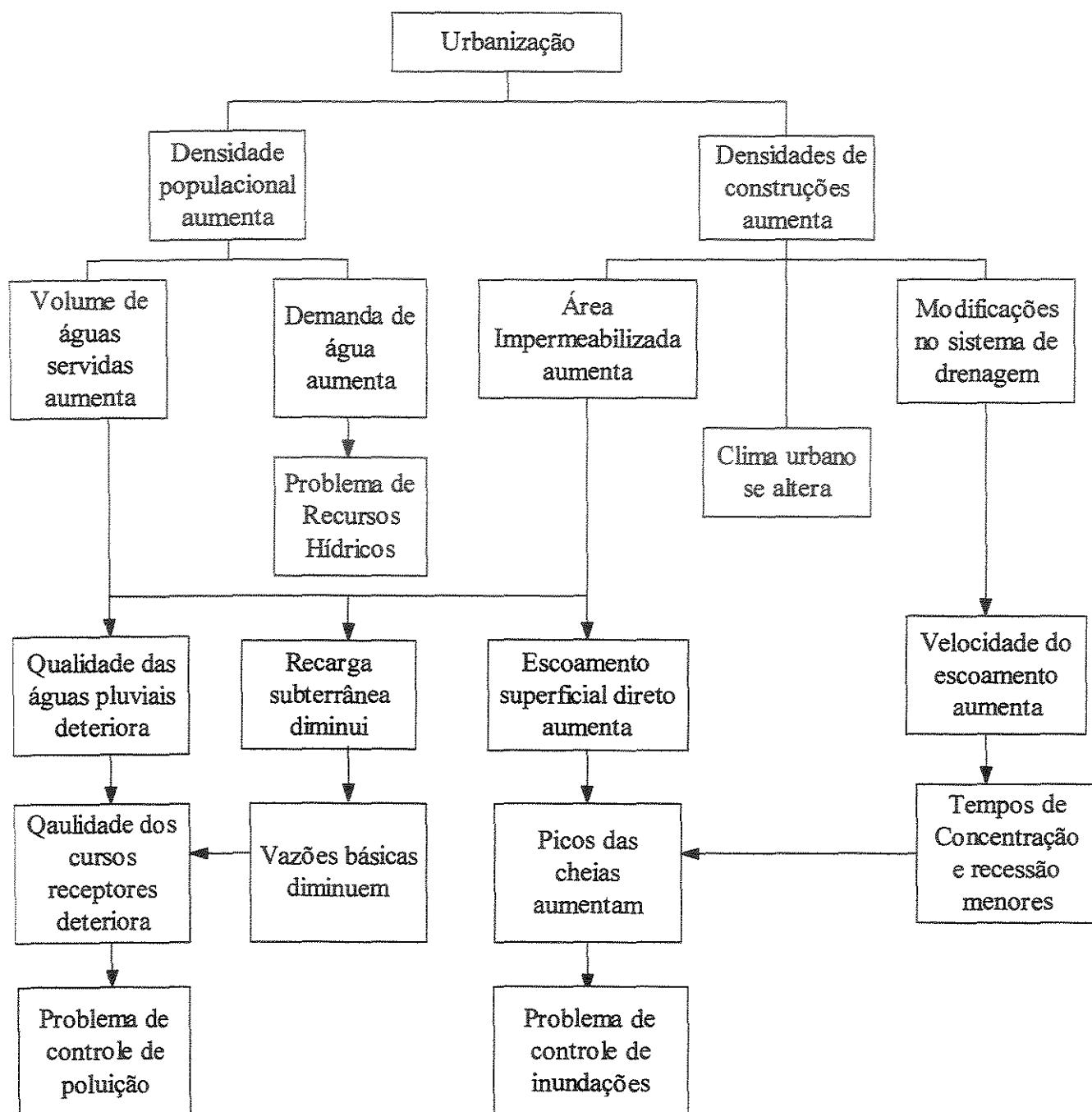
- a) proliferação de loteamentos executados sem condições técnicas adequadas;
- b) ocupação de áreas impróprias (principalmente várzeas de inundação e cabeceiras íngremes);
- c) proliferação de favelas e inundações e,
- d) ocupação extensa e adensada dificultando a construção de canalizações, eliminando áreas de armazenamento.

Na figura 3.4 elaborada por HALL (1984), citado por TUCCI, 1997, mostra os principais processos que ocorrem em uma área urbana, sintetizando todas as transformações sofridas pelos processos hidrológicos em uma área urbanizada.

**TABELA 3.14 - Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas.**

Causas	Efeitos
Impermeabilização	Maiores picos e vazões.
Redes de Drenagem	Maiores picos a jusante.
Lixo	Degradação da Qualidade da água e, Entupimento de bueiros e galerias.
Redes de Esgotos deficientes	Degradação da Qualidade da água; Moléstias de veiculação hídrica e, Inundações: consequências mais sérias.
Desmatamento e Desenvolvimento Indisciplinado	Maiores picos e volumes; Mais erosão e, Assoreamento em canais e galerias.
Ocupação das Várzeas	Maiores prejuízos; Maiores picos e, Maiores custos de utilidade pública.

FONTE: TUCCI (1997).



**FIGURA 3.4 - Processos que ocorrem numa área urbana.**

FONTE: TUCCI, 1997.

Através deste fluxograma é possível concluir que as vazões naturais são profundamente alteradas quando expostas a formas de assentamento humano, isto é, do uso e ocupação do solo, trazendo como consequência o encharcamento de talvegues. As enchentes atribuídas a urbanização

começam a ocorrer com o desenvolvimento urbano, pois além da retirada da sua proteção natural, há a impermeabilização dos solos por estruturas e construções. As obras urbanas, além de estarem relacionadas ao aumento da impermeabilização do solo e suas consequências, são também causadoras das chamadas inundações localizadas dentro da bacia urbana (CORLETO, 1997). Os hidrologistas observam que nas áreas urbanas, os “picos” das inundações, ou seja, as máximas cotas atingidas pelas lâminas de água, são maiores do que nas áreas rurais submetidas às mesmas intensidades de precipitações, mostrando a influência da realização humana no comportamento dos fluxos superficiais, como por exemplo, a impermeabilização de espaços urbanos, reduzindo-se as áreas de amortecimento de cheias, isto é, da capacidade de contenção de volume de água (LAGO, 1989).



## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 ANÁLISES REALIZADAS**

Segundo objetivos preconizados, primeiramente serão descritas as análises gráficas, logo a seguir as análises estatísticas e por fim a análise através do modelo chuva-deflúvio.

#### **4.1.1 ANÁLISES GRÁFICAS DAS SÉRIES**

Antes de qualquer análise estatística foram examinados os dados de modo a apreender, de uma maneira geral, as informações nele contidas e entender o regime hidrológico da bacia. Desta forma, de posse dos dados contidos nos postos selecionados, foi feita uma análise gráfica das séries fluviométricas e pluviométricas, visualizando o comportamento desses dados, procurando captar as alterações sofridas. Foram utilizados para isto os seguintes instrumentos de análise:

##### **4.1.1.1 FLUVIOGRAMAS**

O traçado dos fluviogramas, que são os gráficos das vazões diárias ao longo do tempo na seqüência de ocorrência, tem por objetivo mostrar o regime do rio permitindo assim visualizar alterações sofridas ao longo do tempo, como períodos médios de vazão, estiagens e enchentes.

#### **4.1.1.2 HISTOGRAMAS DE FREQUÊNCIA**

O traçado dos histogramas, que são a distribuição de frequência da chuva ao longo do período selecionado, tem por objetivo, mostrar a distribuição das chuvas ao longo do tempo nas sub-bacias selecionadas.

#### **4.1.1.3 CORRELAÇÃO ENTRE OS POSTOS**

Este método verifica o grau de relação entre séries fluviométricas através do traçado dos gráficos de dispersão entre os postos, dividindo-se as séries em sub-períodos. Foi feito o gráfico das vazões anuais de um posto em relação a outro, dividindo-se as séries em 3 partes iguais. Sendo assim, formaram-se nuvens de pontos para cada período e através da visualização da reta de ajuste para estes pontos, analisa-se, ao longo do período considerado, se as séries sofreram mudanças significativas.

#### **4.1.1.4 CURVA DAS DIFERENÇAS ACUMULADAS**

Este método é usado como uma forma de entendimento do comportamento das vazões para comparação e análise de como as séries evoluíram no tempo. Analisa-se através deste gráfico o comportamento das vazões em relação à vazão média.

### **4.1.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DAS SÉRIES FLUVIOMÉTRICAS E PLUVIOMÉTRICAS OBSERVADAS**

Paralelamente as análises gráficas foram feitas as análises estatísticas sobre as séries fluviométricas e pluviométricas, as quais constituem em mais um instrumento de análise para representar as alterações sofridas. As análises foram as seguintes:

#### 4.1.2.1 ESTUDO DE TENDÊNCIA

Para análise de tendência foram utilizados dois métodos, que são os métodos mais utilizados, em análises de dados hidrológicos. Os métodos utilizados foram:

##### 1) MÉTODO DE SPEARMAN – (*RANK CORRELATION*)

Neste teste analisa-se uma série de valores, colocando os dados em ordem decrescente de observação, achando-se a partir desta ordem a diferença entre a posição original e a posição na nova ordem (*rank*). Com o uso da fórmula de Spearman apresentada abaixo, obtém-se  $\rho$ , que é a medida do “*rank correlation*”, o qual mede a relação entre os postos. Quanto mais alto for  $\rho$ , mais os postos estarão correlacionados. A expressão é a seguinte:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum D_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (4.1)$$

onde,

$\rho$ : Coeficiente *rank correlation*;

$D_i$ : diferença entre a posição do dado na série em ordem cronológica e na série colocada em ordem decrescente;

$n$ : número total de dados.

Quanto mais alto for  $\rho$ , mais há sinal de tendência na série. Esta tendência é avaliada pelo uso do teste “*t*”, dado pela expressão abaixo:

$$t = \rho \left[ \frac{n-2}{1-\rho^2} \right]^{0.5} \quad (4.2)$$

onde,

$t$ : Estatística com distribuição de *Student* com  $v = n-2$  graus de liberdade.

## 2) MÉTODO DA REGRESSÃO LINEAR

Outra análise de tendência utilizada foi a regressão linear, que é também uma das análises mais usadas para avaliar tendência em séries hidrológicas. Nesta análise é avaliada a relação entre duas variáveis: o tempo e a variável em estudo, sendo que a tendência é verificada pelo coeficiente angular da reta de ajuste. Este método também é avaliado pela distribuição  $t$  de *Student* (teste  $t$ ), cuja expressão é apresentada a seguir.

$$t = \frac{b}{\sigma_x^2} \quad (4.3)$$

onde,

$b$ : Coeficiente angular da reta de ajuste e,

$\sigma_x$ : Desvio padrão dos resíduos constituídos pela diferença entre os valores da variável em análise ( $x$ ) e os correspondentes resíduos pela reta de ajuste.

Foram analisadas neste estudo as variáveis chuva e vazão em função do tempo, para deste modo, verificar se houve alteração significativa das séries pluviométricas e fluviométricas ao longo do período observado.

### 4.1.2.2 ANÁLISE DA ESTABILIDADE DA MÉDIA E DA VARIÂNCIA

Para análise de estabilidade foram utilizados também dois testes comumente utilizados, que são apresentados a seguir.

#### 1) TESTE ESTATÍSTICO DA VARIÂNCIA (TESTE F)

O teste F avalia a instabilidade da variância e foi feito primeiro, por duas razões: primeiramente porque a instabilidade da variância implica que a série temporal não é estacionária e então não está adequada para outros usos, segundo, porque o teste para instabilidade da média é

muito mais simples, pois usa uma estimativa agrupada das variâncias dos dois sub-conjuntos. Isto é válido somente se a variância dos dois sub-conjuntos forem estatisticamente similares.

Este teste estatístico utiliza a variável F, que é igual a razão entre variâncias de dois sub-conjuntos, sem sobreposição, da série temporal. A distribuição da razão de variância da amostra de uma distribuição normal é conhecida como distribuição F ou distribuição de Fisher. Mesmo que as amostras não sejam de uma distribuição normal, o teste dará uma indicação aceitável de estabilidade de variância. Se o valor de F calculado dos sub-conjuntos cair fora da região crítica em todos os casos, as estimativas agrupadas da variância podem ser usadas para o teste da média.

Sendo assim, este teste é utilizado para verificar se as séries fluviométricas e pluviométricas são homogêneas em termos de variância ao longo do período. Para isto cada série é dividida em sub-períodos, onde é calculado, para cada um deles, a variância, fazendo-se comparações entre estes sub-períodos. Se houver uma variação significativa da variância, conclui-se que houve alterações estatísticas na série. A expressão é a seguinte:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (4.4)$$

onde,

F: Estatística com distribuição tipo “F” ou de Fisher com ( $n_1, n_2$ ) graus de liberdade;

$n_1$  e  $n_2$ : Número de observações dos sub-períodos 1 e 2 respectivamente;

$S^2$ : Variância, onde os índices 1 e 2 se referem a dois sub-períodos. Pode ser calculada por uma das duas expressões a seguir:

$$S = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (X_i^2) - \left( \left( \sum_{i=1}^n (X_i) \right)^2 \div n \right)}{n - 1} \right]^{0,5} \quad (4.5)$$

ou,

$$S = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (X_i^2) - n \cdot \bar{X}^2}{n - 1} \right]^{0,5} \quad (4.6)$$

onde,

$X_i$ : é a observação e,

n: é o número total de dados.

$\bar{X}$  : é a média dos dados

## 2) TESTE ESTATÍSTICO DA MÉDIA (TESTE “t”)

Este teste é similar ao descrito anteriormente, exceto pelo fato de aqui se utilizar a média, em vez da variância, como comparação para os sub-períodos. O teste t, de Student, avalia a média dos dois sub-conjuntos (os mesmos utilizados no teste F) e verifica se houve variação desta média (t calculado) para níveis de significância. A expressão é a seguinte:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\left[ \left( \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right) \cdot \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{0,5}}} \quad (4.7)$$

onde,

n: é o número de dados do sub-período;

$\bar{X}$  : é a média do sub-período e,

$s^2$  : é a variância do sub-período.

#### **4.1.3 APLICAÇÃO DO MODELO CHUVA-DEFLÚVIO**

No estudo foi utilizado o modelo TUPI, que é um modelo chuva-deflúvio relativamente simples, de calibragem bastante flexível quanto ao regime hidrológico, permitindo assim, através da verificação dos parâmetros, verificar as alterações sofridas. Este modelo foi aplicado nas sub-bacias de Estrada de Cunha e Ponte Alta.

##### **4.1.3.1 DESCRIÇÃO GERAL DO MODELO**

O modelo TUPI tem sua origem no modelo SSAAR: *Streamflow Synthesis & Reservoir Regulation* (1972). O modelo parte de uma condição inicial das variáveis de estado (índices de infiltração e umidade do solo), de um conjunto de valores das variáveis de entrada que devem cobrir o período a simular (chuvas diárias em postos pluviométricos e valores mensais de evaporação, que o modelo desagrega em valores diários) , e de um conjunto de valores dos parâmetros fixados arbitrariamente com base na experiência, que serão citados abaixo. A partir disso, são aplicadas sucessivamente suas equações ou relações até obter o valor da variável de saída (vazão na seção fluviométrica em estudo). Os valores resultantes para as variáveis de estado serão os iniciais para o intervalo seguinte que será simulado em seguida, e assim sucessivamente até o último intervalo de tempo do período de simulação que tiver sido estabelecido. Para considerar o modelo calibrado, as vazões calculadas pelo modelo (QC) e as vazões observadas (QO) necessitam ser suficientemente semelhantes, caso contrário, alteram-se alguns dos elementos que haviam sido estabelecidos arbitrariamente na simulação, como as condições iniciais e parâmetros, repetindo-se a operação e comparando novamente as QC (t) com as QO (t), até obter-se valores estáveis dos parâmetros. Isto significará que as equações e os valores destes parâmetros representam de forma suficientemente precisa os processos naturais da bacia e suas características físicas, no período de dados considerados.

Quanto ao intervalo de tempo utilizado pelo programa, nesta versão, é o dia.

#### 4.1.3.2 EQUACIONAMENTO DO MODELO

O modelo considera duas fases no ciclo hidrológico: a fase bacia e a fase canal. A primeira fase procura representar a evapotranspiração, o escoamento superficial, o sub-superficial e o subterrâneo, e a segunda fase, representa o escoamento em canal. O modelo apresenta-se nas seguintes fases:

##### 1) CHUVA MÉDIA NA BACIA

Inicialmente é necessário determinar a chuva média na área dia a dia. Para obtenção desta chuva média foram seguidos os passos descritos abaixo:

- São selecionados os postos pluviométricos em cada sub-bacia, bem como os postos vizinhos que influenciam diretamente nos resultados.
- De posse da série pluviométrica diária de cada posto, a chuva média na bacia a cada dia é determinada através da expressão a seguir:

$$\bar{P} = \frac{P_{1i} \cdot W_1 + P_{2i} \cdot W_2 + \dots + P_{ji} \cdot W_j}{n} \quad (4.8)$$

onde:

$\bar{P}$  : Chuva média na bacia no dia  $i$  (mm);

$P_{ji}$  : Chuva no posto  $j$  no dia  $i$  (mm);

$n$ : Número de postos com dados no dia  $i$ ;

$W_j$  : Coeficiente para cada posto, dado por:

$$W_j = \frac{PM_b}{PM_j} \quad (4.9)$$

onde:

PM<sub>b</sub>: Chuva média na bacia de longo período, determinada através das isoetas, conforme descrito no item a abaixo (mm);

PM<sub>j</sub>: Chuva média de longo período para cada posto, determinada pelo método da curva duplo acumulada, conforme descrito no item b abaixo (mm).

A equação 4.8 pode ser interpretada como a média aritmética de n estimativas da chuva média na bacia, cada uma feita a partir de um posto. Nesse processo admite-se que a relação entre a chuva na bacia e em cada posto, em cada intervalo, é a mesma relação de longo período.

Na sub-bacia de Ponte Alta (Bacia do Paraibuna), os 6 postos pluviométricos da sub-bacia com dados, foram utilizados para o cálculo da chuva média na bacia e, na sub-bacia de Estrada de Cunha (Bacia do Paraitinga), 21 postos foram selecionados.

Esta fórmula de cálculo que considera a cada dia os dados realmente disponíveis é conveniente em face das frequentes falhas nas séries de cada posto.

a) Método das Isoetas:

Consiste no traçado de linhas de igual altura de chuva, onde a precipitação média é obtida, medindo-se as áreas entre isoetas sucessivas ( $h_r$  e  $h_{r+1}$ ) através da expressão a seguir:

$$\bar{P} = \frac{1}{A} \cdot \sum A_{i,j+1} \cdot \frac{(P_j + P_{j+1})}{2} \quad (4.10)$$

onde:

$\bar{P}$ : Chuva média na bacia (mm);

$A_{j, j+1}$ : Área entre as isoetas;

$P_j$ : Precipitação da isoleta  $j$ ;

$P_{j+1}$ : Precipitação da isoleta  $j + 1$  e,

$A$ : Área total da bacia

b) Método da Curva Duplo-Acumulada:

Consiste em obter-se os valores médios das precipitações acumuladas ao longo do período considerado para os postos e, utilizar esta série formada, como base de comparação, plotando estes valores nas abscissas e os valores totais de precipitações para o mesmo período, acumulados, de cada posto nas ordenadas.

Este método é usado para obter médias de longo período homogêneas em postos da bacia, pois existem postos que não possuem dados para o período total considerado, sendo assim extrapolados através desta curva para se obter a média de longo período.

## 2) ESCOAMENTO – UMIDADE DO SOLO – EVAPORAÇÃO

A chuva que cai na bacia pode seguir três caminhos: escoar, aumentar a umidade do solo ou evaporar. Neste modelo, a parcela de chuva que se torna escoamento (RGP) é obtida por uma relação empírica entre as variáveis: SMI – umidade do solo e ROP – fração da chuva. Assim, fixada esta relação (por uma tabela calibrável), tendo-se SMI , entra-se na tabela e obtém-se ROP , que varia entre 0 e 1. Daí obtém-se RGP pela expressão:

$$RGP = \bar{P} \cdot ROP \quad (4.11)$$

onde:

RGP: Parcela da chuva que se torna escoamento (mm);

$\bar{P}$  : Chuva média na bacia (mm) e,

ROP: Fração da chuva a escoar (%).

Sendo assim, do total da chuva  $\bar{P}$ , uma parcela  $\bar{P} \cdot ROP$  irá escoar, e a outra parcela  $\bar{P} \cdot (1 - ROP)$  irá se dividir em duas outras: uma irá aumentar a umidade do solo e outra irá evaporar. Esta divisão se faz pela expressão:

$$SMI(i+1) = SMI(i) + \left( \bar{P} - RGP \right) - KE(i) \cdot ETI(i) \quad (4.12)$$

onde:

$SMI(i+1)$ : Índice de umidade do solo no início do dia  $i+1$  (cm);

$SMI(i)$ : Índice de umidade do solo no dia  $i$  (cm);

$KE$ : Fator de redução da evaporação em função da chuva (%) e,

$ETI(i)$ : Altura de evaporação no dia  $i$  (mm).

Dessa forma, conforme uma parcela da chuva aumenta a umidade do solo, descontada a evaporação, o novo  $SMI(i+1)$  servirá para que no próximo intervalo se tenha um outro valor de  $ROP$ , e daí um outro escoamento, e uma outra parcela para o solo e para evaporar. Como ajuste faz-se:

$$RG = RGP / 24 \quad (4.13)$$

onde:

$RG$ : Escoamento (mm/h).

O volume total a escoar é dividido em três parcelas: escoamento subterrâneo, escoamento superficial e escoamento sub-superficial.

### 3) ESCOAMENTO SUBTERRÂNEO

A parcela que se infiltra e depois percola tornando-se escoamento base , que é chamada aqui de  $BF$  e é obtida pela expressão:

$$BF = BFP \cdot RG \quad (4.14)$$

onde:

$BF$ : Parcela que se infiltra e depois irá se tornar escoamento base (mm);

$BFP$ : Fator empírico, dado através de uma relação calibrável com o índice de infiltração ( $BII$ ),e varia entre 0 e 1 em geral com decaimento exponencial

$BII$ : Índice de infiltração (cm/dia).

A variável BII é atualizada para o próximo intervalo:

$$BII(i+1) = BII(i) + \left[ 24 \cdot RG - BII(i) \left( \frac{PH}{TSBII + \frac{PH}{2}} \right) \right] \quad (4.15)$$

onde:

BII(i): Índice de infiltração no dia i (cm/dia);

BII(i+1): Índice de infiltração no dia i+1;

TSBII: Parâmetro de infiltração (h) e,

PH: Duração do intervalo, que no caso é 24h.

#### 4) ESCOAMENTO SUPERFICIAL (RS) E SUB-SUPERFICIAL (RSS)

O total para estes dois escoamentos (RGS), corresponde à diferença entre o que havia para escoar (RG) e o que derivou para o escoamento subterrâneo, ou seja,

$$RGS = RG \cdot (1 - BFP) \quad (4.16)$$

onde:

RGS: Soma do escoamento superficial (RS) e sub-superficial (RSS), dado em mm/h;

A divisão entre estes dois escoamentos também se faz através de uma relação empírica (calibrada com os dados) da forma: RS = f (RGS). Sendo assim, obtido o escoamento superficial pela relação anterior, através da diferença, obtém-se o escoamento sub-superficial:

$$RSS = RGS - RS \quad (4.17)$$

onde:

RSS: Escoamento sub-superficial (mm/h) e,

RS: Escoamento Superficial (mm/h).

Depois de determinadas, as três parcelas do escoamento, BF, RS e RSS sofrerão um processo de propagação ao longo do tempo, cada uma no seu meio físico. Nesta fase é feita a mudança para vazão dos cálculos que estão feitos em termos de altura sobre a bacia, através de um coeficiente de transformação de unidades, chamado de KAR, dado pela expressão abaixo:

$$\bullet \text{KAR} = \frac{\text{Área da bacia (Km}^2\text{)} \cdot 10^{-3}}{86400\text{s}} \text{ (para intervalo diário)} \quad (4.18)$$

Sendo assim, as vazões são dadas pelas equações a seguir:

- Vazão devido ao escoamento subterrâneo:

$$\text{QBE} = \text{KAR} \cdot \text{BF} \quad (4.19)$$

onde:

QBE: Vazão relativa ao escoamento subterrâneo ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

- Vazão devido ao escoamento superficial:

$$\text{QSE} = \text{KAR} \cdot \text{RS} \quad (4.20)$$

onde:

QSE: Vazão devido ao escoamento superficial ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

- Vazão devido ao escoamento sub-superficial:

$$\text{QTE} = \text{KAR} \cdot \text{RSS} \quad (4.21)$$

onde:

QTE: Vazão relativa ao escoamento sub-superficial ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

A propagação das vazões nos três escoamentos é representada da mesma forma. Considera-se uma série de reservatórios lineares, onde em cada reservatório tem-se duas incógnitas: o volume estocado e a vazão efluente. São duas as equações para resolver:

- Equação da Continuidade:

$$\frac{(QA_1+QA_2)}{2} - \frac{(QE_1+QE_2)}{2} = \frac{(S_2-S_1)}{2} \quad (4.22)$$

onde:

QA e QE: são, respectivamente, as vazões afluente e efluente do reservatório, com índices 1 e 2 indicando dois intervalos de tempo consecutivos, dadas em  $m^3/s$  e,

S: Volume estocado com índices 1 e 2, indicando dois intervalos de tempo consecutivos, dado em  $m^3$ .

- A hipótese de reservatório linear significa que vale a seguinte relação linear entre o volume e a vazão efluente:

$$S = T_s \cdot QE \quad (4.23)$$

onde:

TS: Coeficiente chamado de TB, TS e TT, conforme o escoamento: superficial, subterrâneo ou sub-superficial. Tem a dimensão de tempo (h) e, é chamado de tempo de detenção que representa o tempo que se passará entre a entrada e a saída da vazão em cada reservatório e,

Destas duas equações, tendo-se em cada intervalo QA1, QA2, QE1, S1 e com TS fixado, obtém-se QE2 e S2. Para cada um dos três processos aplica-se este procedimento para um certo número N de reservatórios em série, de forma que a vazão que sai de cada um é a entrada para o seguinte. A última será a de entrada na fase canal. Pela calibragem de TS e do número N de reservatórios, se ajusta o tempo de chegada da vazão ao rio, para cada um dos três processos, pois cada um deles tem seu próprio TS e seu número de reservatórios N que é chamado de FB, FS ou FT, conforme o escoamento: subterrâneo, superficial ou sub-superficial.

## 5) PROPAGAÇÃO DO ESCOAMENTO NO CANAL

A vazão que chega num trecho de canal, irá alterar o volume de água que ele contém, e em função desse volume contido se terá a vazão efluente. Sendo assim, pode-se também representá-lo por uma série de FC reservatórios lineares em série, só que neste caso, o tempo de detenção TS deve depender da própria vazão. A expressão usada é a seguinte:

$$TS = \frac{KTS}{Q^{NC}} \quad (4.24)$$

onde:

KTS e NC: Parâmetros.

A cada intervalo o canal recebe a montante, vazões provenientes das três parcelas do escoamento, formadas em tempos anteriores e integradas no tempo conforme seus parâmetros de propagação. A soma das vazões recebidas em cada intervalo de tempo é propagada ao longo dos FC reservatórios que representam o escoamento no canal. A vazão efluente do último reservatório ( $Q_{canal}$ ), na etapa de aplicação, é a vazão final resultante do modelo. Na etapa de calibragem ela é comparada com a vazão observada na seção do rio em estudo. A seguir, na tabela 4.1, apresentam-se os elementos que compõem o modelo e na figura 4.1 um fluxograma do modelo.

**TABELA 4.1 – Tabela geral dos elementos que compõe o modelo TUPI**

Processo	Variáveis de Entrada	Variáveis de Estado	Equações	Parâmetros e Relações	Variáveis de Saída
Chuva Média na bacia	P	-----	4.8 a 4.10	$W_j$	- P
Escoamento Umidade, Evaporação	- P, ETI	SMI(i)	4.11 a 4.13	$ROP = f(SMI)$ $KE = f(P)$	SMI(i+1), RGP ROP
Infiltração					
Escoamento Subterrâneo	RG	BII	4.14 e 4.15	BFP = f(BII) TSBII	BII(i+1), BF BFP
Escoamento Superficial e Sub-Superficial	RG, BFP	-----	4.16 a 4.23	RS = f(RGS)	RGS, RS, RSS, QBE, QSE, QTE
Propagação Escoamento Subterrâneo	QBE1 e QBEE	SB1	4.22 e 4.23	FB, TB	QBEE2 (QSUBTE)
Propagação Escoamento Superficial	QSE1 e QSEE1	SS1	4.22 e 4.23	FS, TS	QSEE2 (QSUPERF)
Propagação Esc. Sub-Superficial	QTE1 a QTEE1	ST1	4.22 e 4.23	FT, TT	QTEE2 (QSSPER)
Propagação no canal	QBEC, QSEC QTEC	SC1	4.22 a 4.24	FC, NC KTS	QCANAL

FONTE: Manual do Usuário do Modelo TUPI

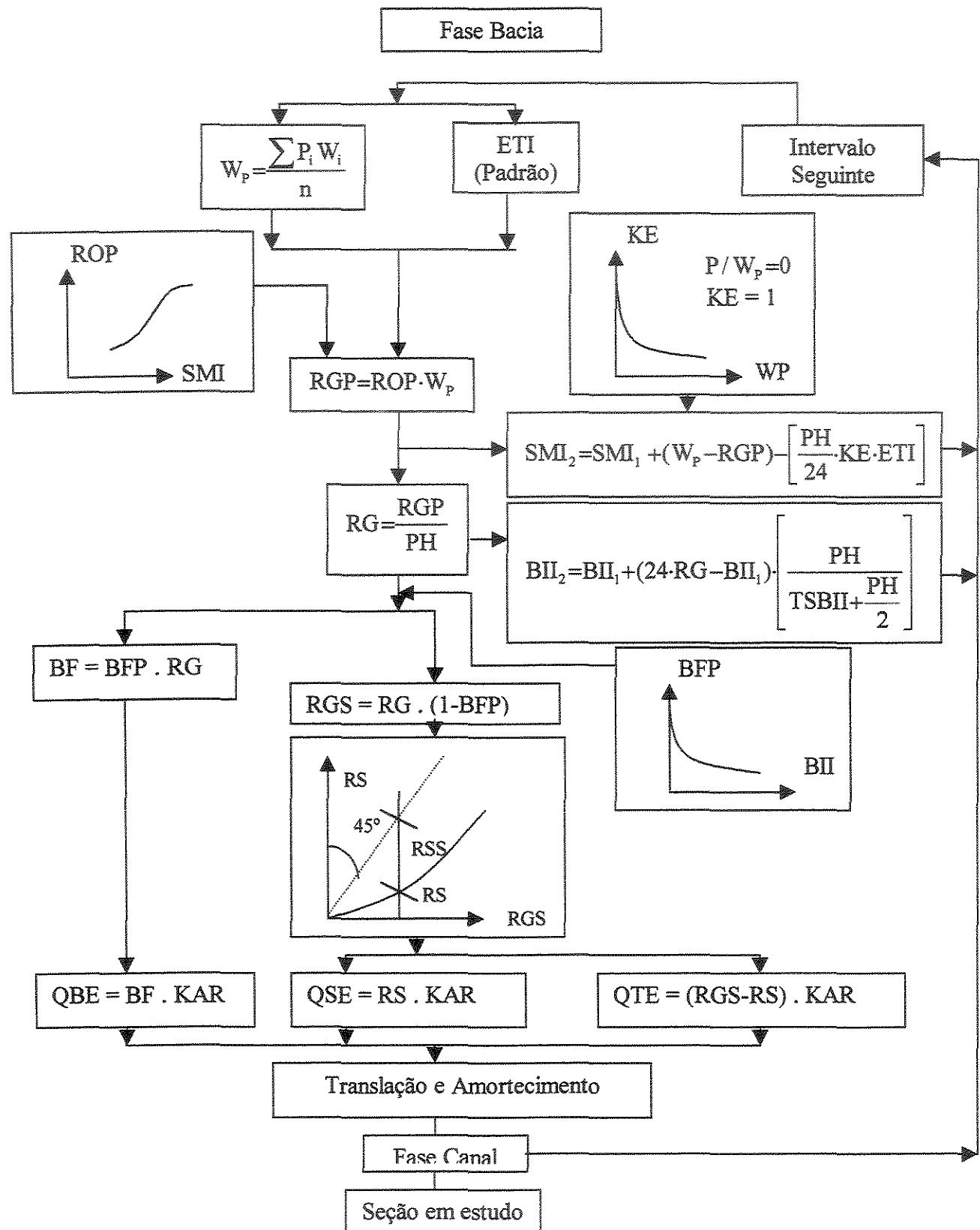


FIGURA 4.1: Fluxograma do modelo TUPI

#### **4.1.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS SOBRE AS SÉRIES FLUVIOMÉTRICAS GERADAS PELO MODELO**

A partir das séries fluviométricas geradas pelo modelo foram feitas análises estatísticas semelhantes ao item 4.1.2. Estas análises foram realizadas através da relação entre a vazão calculada e a vazão observada, verificando desta maneira, se houve tendência da vazão calculada em relação a vazão observada, pois como o modelo foi calibrado e validado para as condições atuais da sub-bacia, com a análise estatística pôde-se verificar a consistência da calibragem e a sensibilidade do modelo diante das observações reais, visto que, admitiu-se com a calibragem que, nos anos anteriores ao período de calibragem a bacia possuía as mesmas condições de hoje.

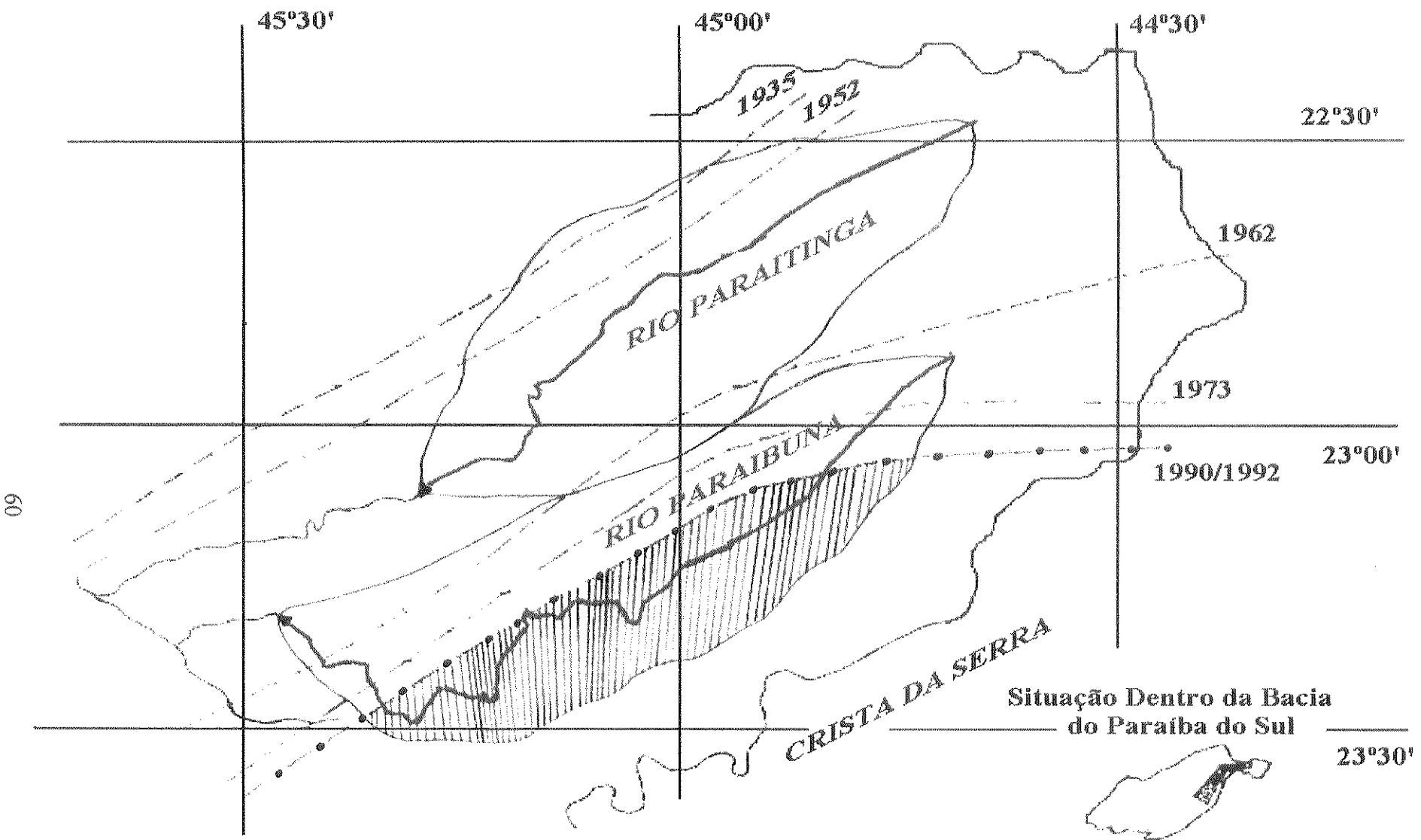
## **5 ESTUDO DE CASO**

Para a escolha das bacias a serem estudadas, foram analisados mapas de evolução do uso e ocupação do solo do estado de São Paulo desde a situação primitiva até os dias atuais, bem como a disponibilidade dos dados hidrológicos constantes de inventários e relações de estações e quadros de disponibilidade constantes de publicações das principais entidades operadoras no estado de São Paulo como DAEE – SP e ANEEL. Com base nesta análise foram selecionadas, as bacias dos Rios Paraibuna e Paraitinga (formadores do Rio Paraíba do Sul). Um outro fator desta escolha, deveu-se a “aparente” disponibilidade e confiabilidade dos dados. A figura 5.1 mostra a evolução da cobertura florestal sofrida pelas bacias selecionadas que encontram-se delimitadas pelas seções fluviométricas. Observa-se nesta figura que, as bacias estudadas sofreram grande perda de cobertura florestal, pois a área hachurada representa a situação atual que, comparada com a situação no ano de 1935, mostra o grande desmatamento sofrido pela área.

### **5.1 CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS**

#### **5.1.1 SITUAÇÃO GEOGRÁFICA**

As bacias dos Rios Paraibuna e Paraitinga estão situadas no estado de São Paulo no limite sul-oriental com o estado do Rio de Janeiro e estão compreendidos entre os paralelos de 23°00' e 23°45' (latitude Sul) e entre os meridianos de 44°50' e 45°50' (longitude Oeste). As bacias encontram-se circundadas pelas serras de Quebra Cangalha e Jambeiro pelo Norte, Serra da



**LEGENDA:** - - - e - - - - : Linhas representativas da evolução de cobertura florestal ao longo dos anos, segundo bibliografias de VICTOR (1975) e KRONKA et. al. (1993), respectivamente; ▲ : Secções Fluviométricas; Área Hachurada: Situação atual da cobertura vegetal  
**FIGURA 5.1:** Evolução da Cobertura florestal nas bacias dos Rios Paraibuna e Paraítinga

Bocaina pelo Leste e Serra do Mar pelo Sul. A orientação geográfica das Serras do Mar e Quebra Cangalha é ENE – WSW, sentido no qual correm os rios Paraibuna e Paraitinga, com exceção do trecho inferior do Rio Paraibuna que segue a direção NW a partir de Bairro Alto até sua confluência com o Rio Paraíba do Sul.

### **5.1.2 GEOLOGIA**

A zona onde correm os Rios Paraibuna e Paraitinga, formadores em sua confluência do Rio Paraíba do Sul está constituída de rochas cristalinas predominantemente ácidas, gneiss de diversos tipos e texturas com frequentes inserções graníticas. A conformação topográfica atual é constituída de elevações interrompidas e de pequenos vales, tendo um índice de grande atividade tectônica, que esta zona tem sofrido através dos diversos estágios de sua formação. Este fato, como é natural, contribui grandemente como modificação do sistema hidrográfico do lugar. Existem diversas teorias que explicam esta modificação da forma original, entre elas as mais citadas são: a ocorrência de uma fase tectônica que caracteriza atualmente a fisiografia da região e a erosão progressiva devido à atividade fluvial.

### **5.1.3 HIDROGRAFIA**

A rede hidrográfica que interessa ao nosso estudo é formada pelos Rios Paraibuna, Paraitinga e seus afluentes. A seguir é apresentada uma descrição destes dois rios e seus afluentes.

#### **- RIO PARAIBUNA**

O rio Paraibuna, um dos formadores do Rio Paraíba do Sul, nasce na Serra do Parati no contraforte da Serra do Mar, na linha divisória dos Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Corre acompanhando de perto a linha divisória de água na direção SW e paralela a costa, até o Bairro

Alto a uma elevação de 696m . Daí vira bruscamente para o NW, até encontrar-se com o Paraitinga a uma elevação de 620m e a 4km de banhar a cidade de Paraibuna. O percurso total é de 140km aproximadamente, começando em suas cabeceiras com uma elevação de 1600m e terminando na união com o Paraitinga a uma elevação de 620m.

A bacia hidrográfica que drena este rio tem uma superfície aproximada de 1850km<sup>2</sup> até a cidade de Paraibuna.

Um dos mais importantes afluentes do rio Paraibuna é o Rio Lourenço Velho em sua margem esquerda e o rio do Peixe em sua margem direita. O rio Lourenço Velho nasce na Serra do Parati e recebe água de uma parte da Serra do Mar. O declive que segue o canal deste rio em seu curso inferior e conjuntamente com o Rio Paraibuna delimita e forma um planalto inferior de pouca declividade que se estende da Serra do Mar até a planície de Jambeiro.

#### **- RIO PARAITINGA**

o Rio Paraitinga nasce na Serra da Bocaina, que pertence ao sistema da Serra do Mar nas proximidades dos limites entre São Paulo e Rio de Janeiro. Desde suas cabeceiras até São Luís do Paraitinga, ele percorre 120km com uma inclinação suave, daí em diante esta inclinação se pronuncia mais e ao final de seu percurso, que é de 200km é frequente encontrar corredeiras e saltos.

O Rio Paraitinga, como o Paraibuna é formador do Rio Paraíba do Sul. A área da bacia de drenagem é aproximadamente 2580km<sup>2</sup>.

#### **5.2 DADOS HIDROLÓGICOS**

As ferramentas essenciais para composição deste estudo foram os dados hidrológicos das bacias selecionadas contidos nas séries pluviométricas e fluviométricas. As bacias selecionadas

foram escolhidas, principalmente, pelo fato de possuírem maior disponibilidade e aparente confiabilidade em relação aos dados, o que não se verificou ao longo do estudo, pois, considerando os períodos realmente com dados disponíveis, a densidade dos postos pluviométricos e fluviométricos verificados na figura 5.2 torna-se pequena e heterogênea que significa que alguns impasses nas análises possam ter ocorrido, pois, se houve a chuva, o hidrograma observado capta esta chuva, mas pode ter chovido apenas nos postos selecionados, ou vice-versa.

Primeiramente foi feito um mapa localizando todos os postos pluviométricos e fluviométricos instalados nas bacias e suas proximidades, para desta forma verificarmos a distribuição espacial e a densidade destes postos. Feito esta localização, foram verificados os períodos de dados contidos nas séries. Com isto foram determinados os períodos base para cada tipo de análise. A seleção deste período foi feita da seguinte forma:

- 1) Para a análise gráfica, o período de estudo foi o próprio período de dados contidos nas séries pluviométricas e fluviométricas, para desta maneira realizar-se a análise visual da série completa e ter uma visão geral do comportamento dos dados contidos nas séries.
- 2) Para a análise estatística, as séries necessitam estar a mais completa possível e, por este motivo o período adotado para esta análise foi entre 1938 e 1997, que foi o período mais freqüente observado nas séries pluviométricas e fluviométricas. Ressalta-se que, para análise da média e variância, as séries foram sub-divididas em duas partes proporcionais, pois, nestas análises as séries precisam ser divididas em sub-períodos.
- 3) Para análise através do modelo chuva-deflúvio o período base adotado foi de 1958 a 1994, pois segundo VICTOR, 1975, as maiores alterações sofridas pelas bacias foram a partir da década de 50, mostrando com isso, que os resultados não sofreriam mudanças significativas se fossem utilizados períodos mais antigos. Ressalta-se aqui que, os anos utilizados para a calibragem do modelo foram os anos de 1989, 1991 e 1993 e os anos de 1990, 1992 e 1994 foram os anos utilizados para validação da calibragem. Por último, com a calibragem feita, o modelo foi processado para o período de 1958 a 1994.

Feito a seleção dos períodos de estudo para cada análise, dos 82 postos pluviométricos e 13 postos fluviométricos, inicialmente selecionados, restaram 71 postos pluviométricos e 8 postos fluviométricos , em função do período de estudo selecionado e das dificuldades em se obter as séries completas por parte das instituições que operam os postos.

Os postos pluviométricos e fluviométricos selecionados, com os respectivos períodos de observação, município e bacia em que se localizam, são mostrados nas tabelas 5.1 e 5.2. Na tabela 5.1, constam também, os valores calculados das médias de longo período para cada um dos 71 postos selecionados, cujo cálculo justifica-se pelo fato de existirem postos que não possuem dados para o período total considerado.

A figura 5.2 e a figura 5.3 mostram a disposição dos postos na área estudada e as isoetas para as bacias dos Rios Paraibuna e Paraitinga, que foram traçadas por interpolação linear, respectivamente..

**TABELA 5.1 – Postos Pluviométricos - Bacia do Alto Paraíba.**

Posto	Nome	Município	Média (mm)	Bacia	Período	
					Início	Fim
1	Bananal	Bananal	1361	Bananal	1938	1997
2	São José do Barreiro	São José do Barreiro	1599	Paraíba do Sul	1943	1997
3	Campos de Cunha	Cunha	1395	Sete Cabeças	1961	1997
4	Cruzeiro	Cruzeiro	1511	Paraíba do Sul	1938	1997
5	Silveiras	Silveiras	1522	Paraíba do Sul	1970	1997
6	Usina Bocaina	Cachoeira	1681	Paraíba do Sul	1970	1996
7	Faz. Santa Isabel	Areias	1624	Paraitinga	1971	1997
8	Xadrez	Silveiras	1393	Paraitinga	1970	1994
9	Capetinga	Cunha	1374	Paraitinga	1970	1995
10	Vargem do Tanque	Cunha	1386	Paraitinga	1973	1997
11	Roseira	Roseira	1107	Pirapitinga	1938	1970
12	Brumado	Guaratinguetá	1454	São Gonçalo	1957	1997
13	Cachoeira	Cachoeira	1365	Paraíba do Sul	1940	1969
14	Rocinha	Guaratinguetá	1429	Paraitinga	1965	1994
15	Estrada de	Cunha	1510	Paraitinga	1940	1968
16	Fazenda Serro Alto	Lorena	1824	Ribeirão das Canas	1958	1971
17	Fazenda Três Barras	Lorena	1436	Ribeirão Tabuão	1958	1994
18	Bonfim	Aparecida	1354	Motas	1958	1997
19	Paraitinga	Cunha	1403	Paraitinga	1973	1994
20	Fazendinha	Guaratinguetá	1208	Paraitinga	1973	1996
21	Fazenda do Cume	Cunha	1330	Jacuí	1958	1997
22	Cunha	Cunha	1222	Itaim	1941	1966
23	Bairro Paraibuna	Cunha	1625	Aparição	1970	1997

**TABELA 5.1 – Postos Pluviométricos - Bacia do Alto Paraíba.**

Posto	Nome	Município	Média (mm)	Bacia	Período	
					Início	Fim
24	Sertão do Rio Manso	Cunha	1610	Jacuí	1970	1996
25	Faxinal	Lagoinha	1398	Pinhal	1960	1997
26	Natividade da Serra	Natividade	1257	Paraíbuna	1940	1997
27	São Luís do Paraitinga	São Luís do Paraitinga	1227	Paraitinga	1940	1968
28	Bairro Alto	Natividade	1421	Paraíbuna	1940	1997
29	Jambeiro	Jambeiro	1347	Paraíba do Sul	1943	1997
30	Alferes	Paraíbuna	1204	Paraíba do Sul	1943	1997
31	Ponte Alta	São Luís do Paraitinga	1951	Paraíbuna	1940	1968
32	Redenção da Serra	Redenção da Serra	1273	Paraitinga	1954	1997
33	Taubaté	Taubaté	1116	Itaim	1943	1969
34	Paraíbuna	Paraíbuna	1165	Paraíbuna	1944	1970
35	Comércio	Paraíbuna	1238	Paraíbuna	1944	1993
36	Pitas	Paraíbuna	1250	Paraíbuna	1944	1993
37	Bairro Capoeirinha	Paraíbuna	1830	Lourenço Velho	1944	1973
38	Lagoinha	Lagoinha	1270	Pinhal	1948	1997
39	Catucaba	São Luís do Paraitinga	1203	Paraitinga	1948	1997
40	Fazenda Santa Leonor	Taubaté	1336	Almas	1955	1996
41	Fazenda São João	Taubaté	1312	Anta	1954	1997
42	Fazenda Bocaina	Taubaté	1165	Itaim	1955	1970

**TABELA 5.1 – Postos Pluviométricos - Bacia do Alto Paraíba.**

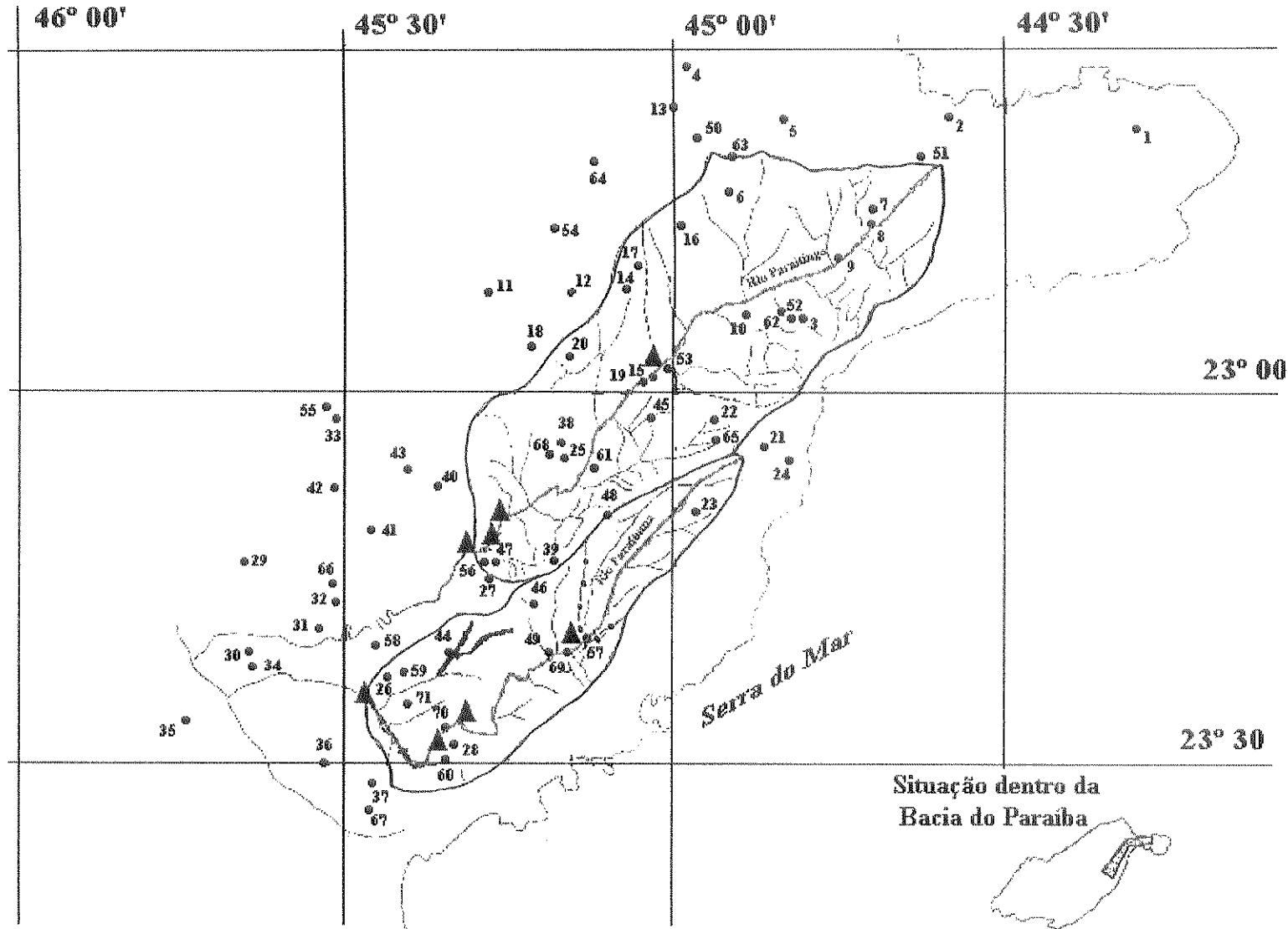
Posto	Nome	Município	Média (mm)	Bacia	Período	
					Início	Fim
43	Ribeirão das Almas	Taubaté	1341	Almas	1958	1995
44	Laranjal	Natividade	1565	Paraibuna	1970	1997
45	Capivara	Cunha	1329	Jacuí	1970	1997
46	Cachoeirinha	São Luís do Paraitinga	1290	Paraitinga	1957	1992
47	São Luís do Paraitinga	São Luís do Paraitinga	1203	Paraitinga	1972	1996
48	Ferraz	Cunha	1357	Paraitinga	1973	1995
49	Briet	São Luís do Paraitinga	1783	Paraibuna	1973	1997
50	Bocaina	Cachoeira	1384	Paraíba	1935	1999
51	Lajeado	São José do Barreiro	2313	Paraíba	1967	1979
52	Campos do Cunha	Cunha	1415	Paraibuna	1967	1999
53	Estrada de	Cunha	1437	Paraitinga	1935	1999
54	Guaratinguetá	Guaratinguetá	1348	Paraíba	1930	1999
55	Taubaté	Taubaté	1291	Paraíba	1935	1999
56	São Luís do Paraitinga	São Luís do Paraitinga	1245	Paraitinga	1935	1999
57	Ponte Alta	São Luís do Paraitinga	2016	Paraitinga	1936	1999
58	Ponte dos Mineiros	Natividade da Serra	1272	Paraitinga	1951	1974
59	Natividade da Serra 2	Natividade da Serra	1255	Paraitinga	1930	1974
60	Bairro Alto	Natividade da Serra	1484	Paraitinga	1930	1974

**TABELA 5.1 – Postos Pluviométricos - Bacia do Alto Paraíba.**

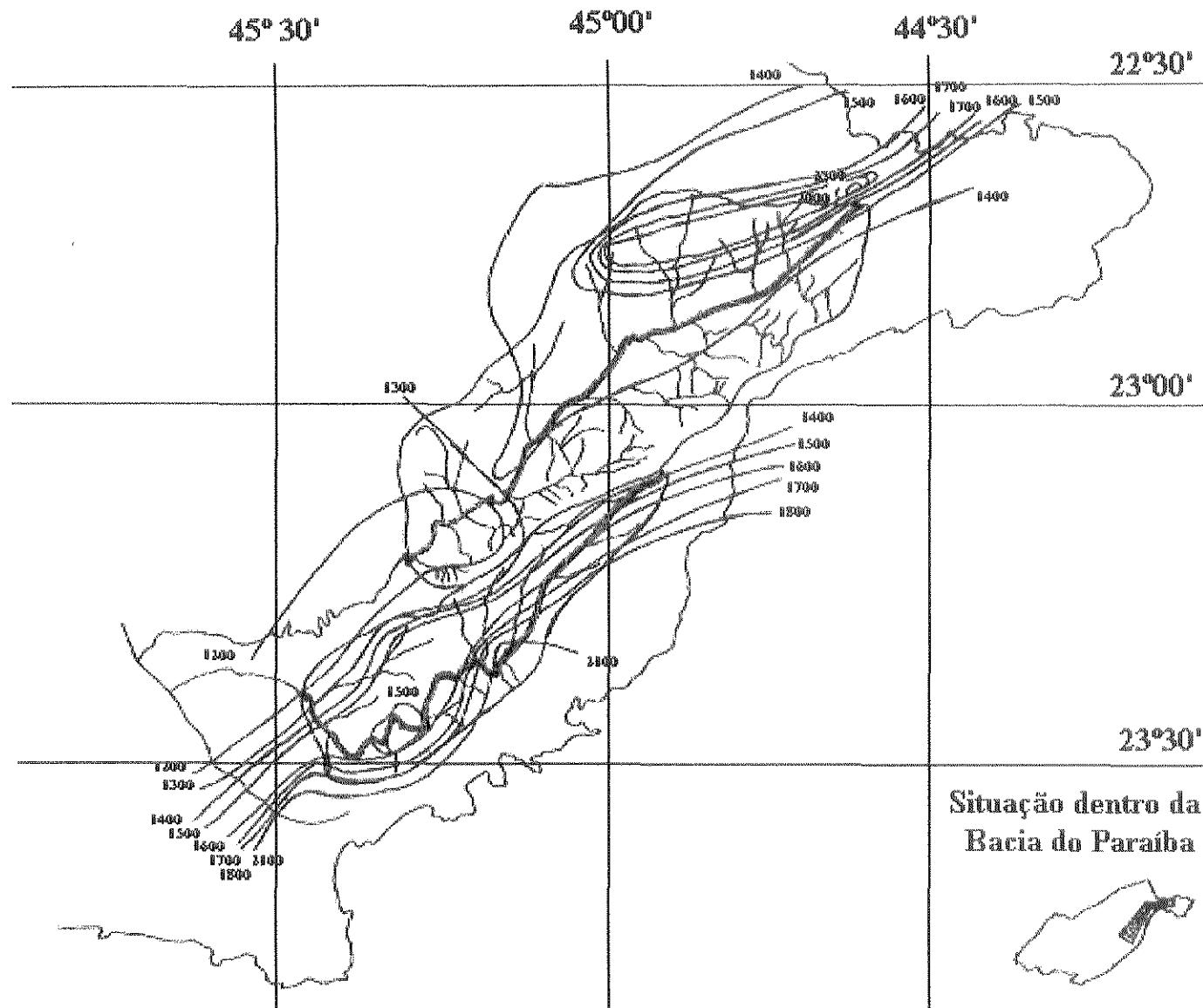
Posto	Nome	Município	Média (mm)	Bacia	Período	
					Início	Fim
61	Cunha	Cunha	1388	Paraibuna	1961	1967
62	Campos do Cunha	Cunha	1408	Paraibuna	1949	1994
63	Usina Bocaina	Cachoeira	1567	Paraíba	1928	1995
64	Lorena	Lorena	1406	Paraíba	1928	1996
65	Cunha	Cunha	1344	Paraibuna	1949	1994
66	Redenção da Serra	Redenção da Serra	1259	Paraitinga	1949	1994
67	Passa Quatro	Paraibuna	2175	Paraibuna	1937	1994
68	Lagoinha	Lagoinha	1233	Paraitinga	1949	1994
69	Ponte Alta	São Luís do Paraitinga	2158	Paraitinga	1953	1994
70	Bairro Alto	Natividade da Serra	1507	Paraitinga	1927	1960
71	Natividade da Serra	Natividade da Serra	1363	Paraibuna	1927	1955

**TABELA 5.2 – Postos Fluviométricos - Bacia do Alto Paraíba.**

Posto	Nome	Área (km <sup>2</sup> )	Bacia	Período	
				Início	Fim
1	Ponte Alta 1	276	Paraibuna	1934	1995
2	Fazenda Palmeiras	540	Paraibuna	1977	1999
3	Bairro Alto	585	Paraibuna	1938	1974
4	Natividade da Serra 1	848	Paraibuna	1929	1974
5	São Luís do Paraitinga	1920	Paraitinga	1976	1999
6	São Luís do Paraitinga	1956	Paraitinga	1931	1974
7	São Luís do Paraitinga	1956	Paraitinga	1975	1995
8	Estrada de Cunha	736	Paraitinga	1934	1995



**FIGURA 5.2:** Mapa de distribuição dos Postos Pluviométricos e Fluviométricos nas bacias dos Rios Paraibuna e Paraitinga.



**FIGURA 5.3:** Mapa das Isoietas anuais médias para as bacias dos Rios Paraibuna e Paraítinga. Valores em mm.



## **6 RESULTADOS**

Como descrito anteriormente foram realizadas três análises: análises gráficas, estatísticas e análise através de modelo chuva-deflúvio. Primeiramente , serão descritos os resultados obtidos através das observações visuais realizadas com base nos gráficos construídos, a fim de contribuir para o objetivo do estudo e representar as alterações sofridas pelas bacias. Logo após serão mostrados os resultados das análises estatísticas e por último as análises realizadas com base no modelo chuva-deflúvio.

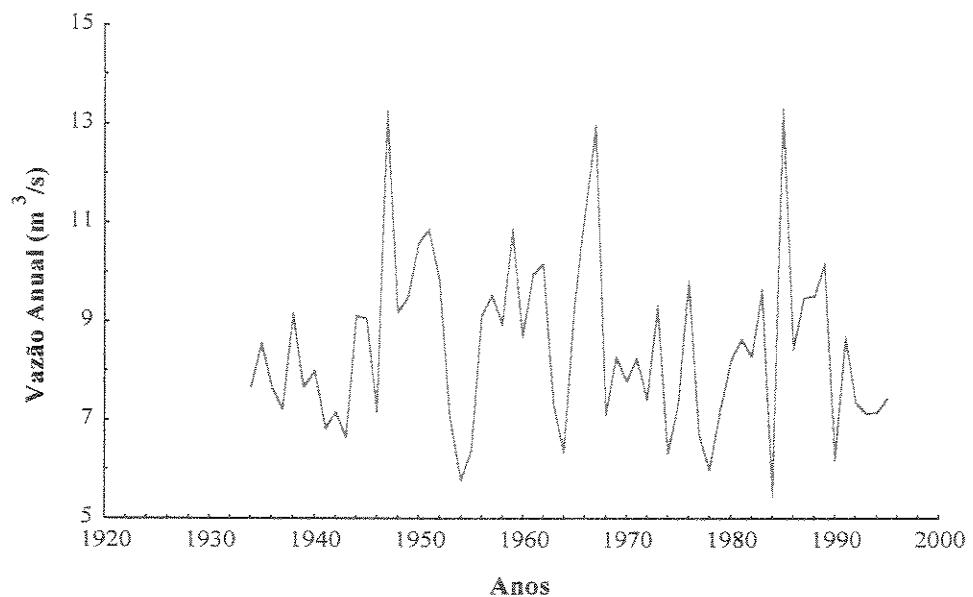
### **6.1 ANÁLISES GRÁFICAS**

Os dados contidos nas séries foram examinados graficamente de forma a apreender, de uma maneira geral, as informações neles contidas, para desta forma entender o regime hidrológico das bacias estudadas. Os instrumentos de análise gráfica utilizados foram os seguintes:

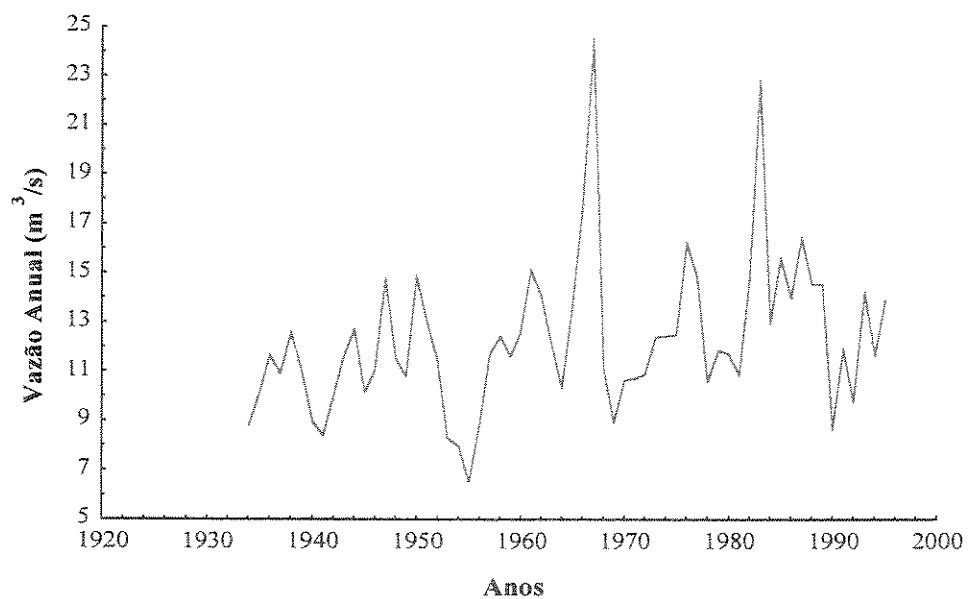
#### **6.1.1 FLUVIGRAMAS**

Como primeira observação visual são analisados os fluvigramas observados das duas sub-bacias selecionadas (sub-bacia Ponte Alta na bacia do Paraibuna e sub-bacia Estrada de Cunha na bacia do Paraitinga), os quais são mostrados nas figuras 6.1 e 6.2 apresentados a seguir. Estas bacias foram selecionadas devido à impossibilidade, na questão tempo e dados, de se

realizar a análise para todos os postos fluviométricos das bacias.



**FIGURA 6.1:** Fluviograma – Posto Ponte Alta



**FIGURA 6.2:** Fluviograma – Posto Estrada de Cunha

Verifica-se visualmente através da figura 6.1 que, o regime de vazões apresenta certa simetria em relação a um eixo horizontal que passa pela média dos valores, mostrando assim uma aparente manutenção dos valores de vazão ao longo dos anos, que se traduz em uma conclusão inicial, pois análises posteriores mostrarão maiores esclarecimentos à respeito das vazões observadas nas duas seções fluviométricas analisadas. Já no fluiograma de Estrada de Cunha (figura 6.2), é observado um pequeno aumento das vazões nos anos mais recentes, mostrado inclusive picos de vazão maiores no período atual em relação ao período mais antigo. Notar entretanto que no período mais recente (1976-1995) as vazões flutuam em torno da média.

### 6.1.2 HISTOGRAMAS

Analisou-se aqui a distribuição de frequência da chuva para 4 postos pluviométricos: Estrada de Cunha e São Luís do Paraitinga na bacia do Paraitinga e Natividade da Serra e Ponte Alta na bacia do Paraibuna. Os histogramas referentes à bacia do Paraitinga são apresentados nas figuras 6.3 e 6.4, mostradas a seguir.

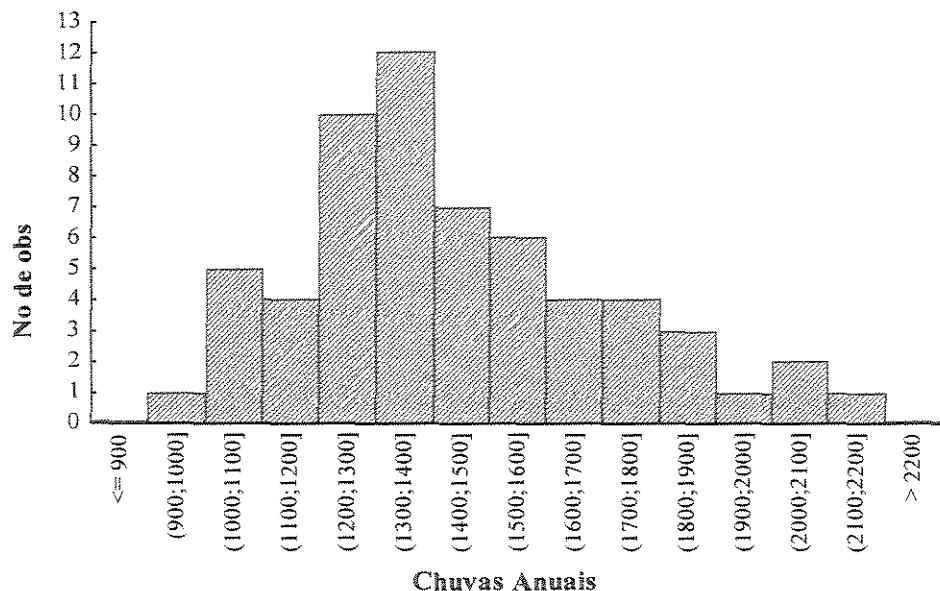
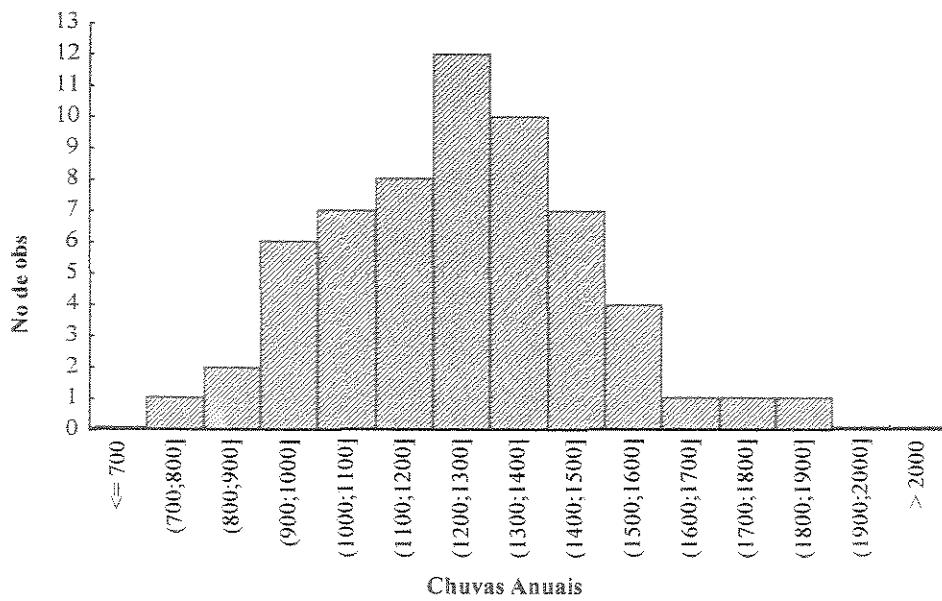


FIGURA 6.3: Histograma Estrada de Cunha – Bacia do Paraitinga



**FIGURA 6.4:** Histograma São Luís do Paraitinga – Bacia do Paraitinga

Nos histogramas apresentados verifica-se que as maiores frequências de ocorrência são para chuvas anuais em torno de 1200 a 1400mm, resultado este confirmado pelo mapa de isoetas médias, apresentado na figura 5.3, isto é, os postos acima representados estão localizados em áreas compreendidas por isoetas entre 1200 e 1400mm.

As figuras 6.5 e 6.6, apresentadas a seguir, mostram os histogramas referentes aos postos localizados na bacia do Paraibuna.

Para os histogramas que representam a distribuição de frequência das chuvas na bacia do Paraibuna, é observado que no Posto Natividade da Serra (figura. 6.5), as maiores frequências de chuvas anuais estão entre 1100 e 1300mm, como é mostrado pelas isoetas da figura 5.3. Já o histograma de Ponte Alta (fig. 6.6), mostra maiores observações para chuvas anuais entre 2200 e 2400mm, isto é, para chuvas altas, fato este também comprovado pelas isoetas e também pelo fato deste posto estar mais próximo da serra. No decorrer das análises serão apresentadas mais conclusões a respeito do regime pluviométrico nas áreas estudadas, lembrando-se que as análises gráficas constituem-se em um primeiro instrumento de observação visual.

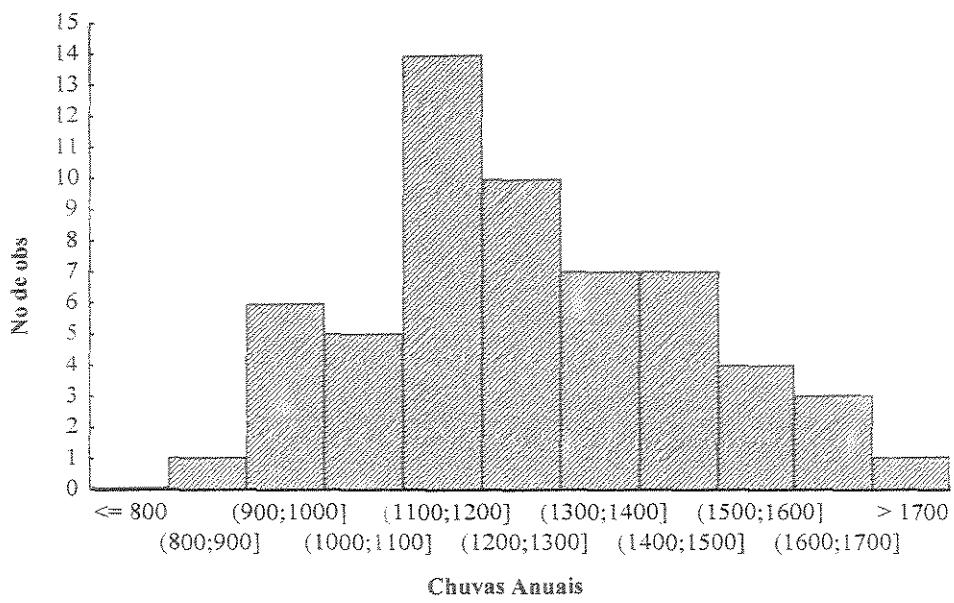


FIGURA 6.5: Posto Natividade da Serra – Bacia do Paraibuna

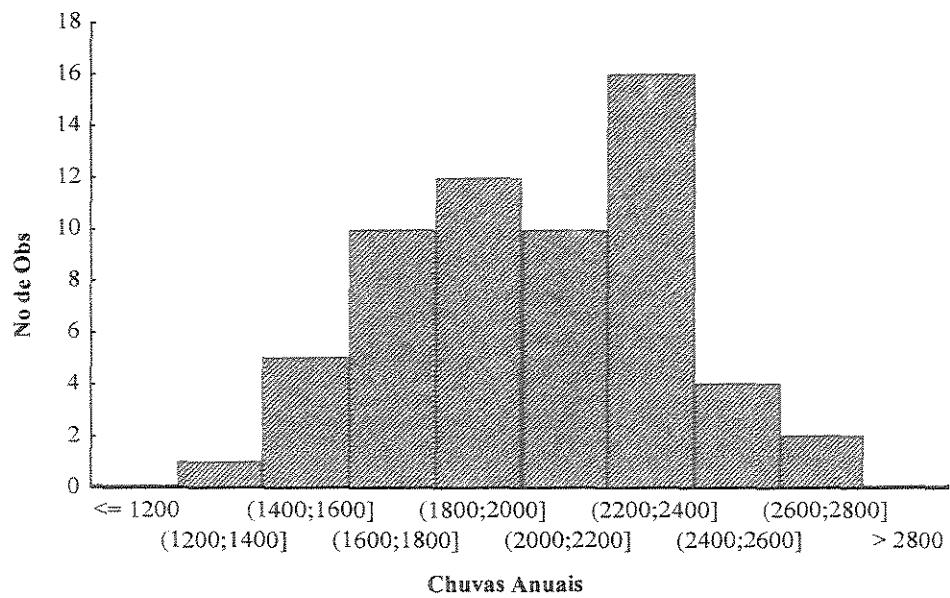


FIGURA 6.6: Posto Ponte Alta – Bacia do Paraibuna

### 6.1.3 CORRELAÇÃO ENTRE OS POSTOS

Através deste gráfico é verificado o grau de relação entre a série fluviométrica do Posto Estrada de Cunha e Ponte Alta, que foram as sub-bacias selecionadas.

Dividiram-se as séries em sub-períodos de 20 anos, levando-se em consideração o trabalho de VICTOR (1975), o qual mostra que, as alterações sofridas na área coberta pelas bacias, foram, na maioria, perceptíveis de 20 em 20 anos. Na figura 6.7 apresenta-se o gráfico resultante.

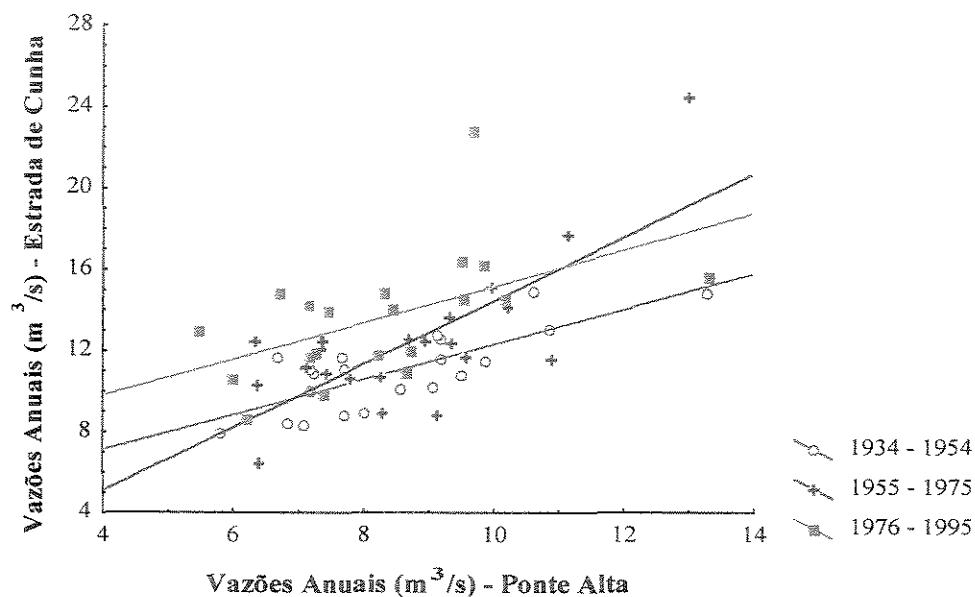


FIGURA 6.7: Correlação entre o Posto Ponte Alta e o Posto Estrada de Cunha

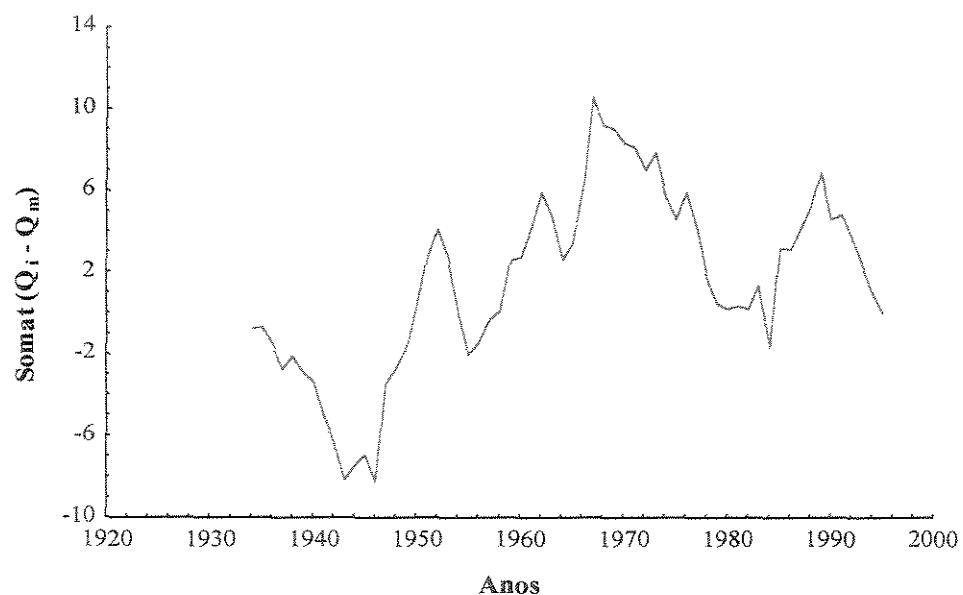
É concluído a partir deste gráfico que há uma certa tendência de vazões mais altas para os últimos anos, representados pelos pontos em verde. Esta tendência de vazões mais altas, pode ser devido a sub-bacia Estrada de Cunha, que sofreu maiores alterações ao longo do tempo e fez com que os valores subissem. De maneira geral, este resultado mostra uma alteração na relação entre as séries fluviométricas dos postos ao longo dos anos.

Estabelecendo uma relação deste resultado com o obtido através dos fluvigramas destes dois postos, verifica-se que em Estrada de Cunha o resultado confirma-se, ao contrário de Ponte

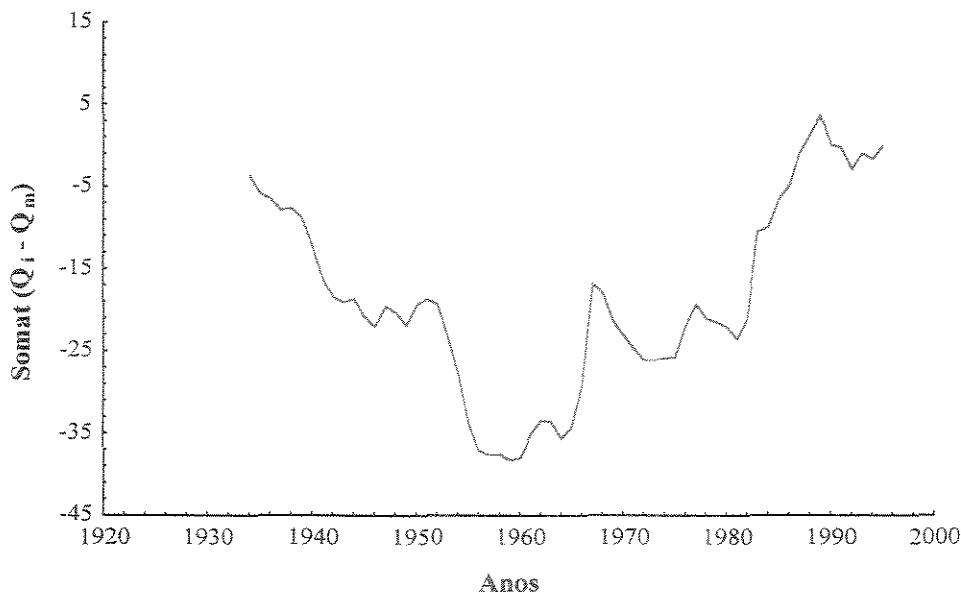
Alta, onde, o fluiograma mostra uma certa permanência das vazões ao longo dos anos e na correlação com o Posto Estrada de Cunha, observou-se uma tendência para valores mais altos no período mais recente. Este fato pode ter sido resultante das observações mais altas de vazões em Estrada de Cunha.

#### 6.1.4 CURVA DAS DIFERENÇAS ACUMULADAS

O gráfico resultante para o posto de Ponte Alta (Bacia do Paraibuna) está representado na figura 6.8 e, na figura 6.9 é apresentado o gráfico para o posto de Estrada de Cunha (Bacia do Paraitinga), ambos apresentados a seguir.



**FIGURA 6.8:** Curva das Diferenças Acumuladas – Posto Ponte Alta



**FIGURA 6.9:** Curva das Diferenças Acumuladas – Posto Estrada de Cunha

Através da figura 6.8, verifica-se que as vazões ficaram abaixo da média nos anos de 1930-1946. Nos anos de 1946-1968 verifica-se uma elevação da vazão em relação à média e ao período anterior. Nos últimos 20 anos da análise, observa-se um decréscimo das vazões em relação à média. Tomando-se o período 1958-1995, verifica-se que sua média é aproximadamente igual à média de longo período.

Na figura 6.9 verifica-se nos primeiros 20 anos de análise (1930-1950), que as vazões mostraram-se abaixo da média, fato este também verificado na primeira metade do 2º período (1950-1960), pois, a partir da 2º metade (1960-1970) até o período mais recente é observado um aumento em relação aos períodos anteriores, com intervalos de tempo muito curtos de decrescimento das vazões, concluindo-se assim, que para esta sub-bacia (Estrada de Cunha), de forma geral, as vazões foram superiores à média, nos períodos mais recentes.

No decorrer das análises estas hipóteses serão melhores esclarecidas, visto que, as observações feitas nesta análise gráfica, são visuais.

## **6.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS**

Paralelamente às análises gráficas foram realizadas análises estatísticas sobre as séries fluviométricas e pluviométricas, com os postos selecionados pelo período de dados, comentados no capítulo anterior. Esta segunda análise constitui-se em mais uma forma de representar as alterações sofridas pelas bacias estudadas.

Os postos pluviométricos selecionados nesta análise foram àqueles situados dentro das bacias e alguns localizados nas proximidades. Devido a problemas de falhas nas séries, foram também selecionados postos com séries que datam da década de 50. Com relação aos postos fluviométricos, decidiu-se realizar as análises estatísticas sobre os 8 postos situados nas duas bacias selecionadas. Ressalta-se aqui, que nas tabelas que apresentam os resultados, constam apenas 5 postos fluviométricos analisados, devido a muitas falhas nas séries, isto é sequência de anos sem dados, nos três postos ausentes.

Deste modo foram realizados os seguintes testes estatísticos sobre as séries anuais dos postos:

### **6.2.1 POSTOS PLUVIOMÉTRICOS**

#### **6.2.1.1 ANÁLISE DE TENDÊNCIA**

As tabelas 6.1 e 6.2 a seguir, apresentam os resultados obtidos os testes de tendência, através de dois métodos: *Rank Correlation* e Regressão Linear, sobre 12 postos pluviométricos selecionados.

Observa-se nas tabelas 6.1 e 6.2, de modo geral as séries não apresentam tendência, indicando que houve uma estabilidade da chuva. Como exceção os postos São José do Barreiro, Catucaba e Guaratinguetá apresentam tendência na análise pelos dois métodos, exceto

Guaratinguetá que apresenta tendência só no 1º método. Os postos São José do Barreiro e Catucaba apresentam tendência significativa, devido a maior diferença entre o valor de t calculado e os níveis de significância, sendo que o posto Guaratinguetá, além de apresentar tendência apenas pelo 1º método, esta não é significativa, devido a pouca diferença entre o valor de t calculado e apenas em um dos níveis de significância (nível de 90%). Com isto conclui-se através dos testes de tendência aplicados aos postos pluviométricos que as séries dos Postos São José do Barreiro e Catucaba não são estacionárias ao longo do período de observação, apresentando desta forma, alterações ao longo do período de observação. Este resultado deve-se possivelmente, ao fato das séries destes postos possuírem muitas falhas.

#### 6.2.1.2 ANÁLISE DE ESTABILIDADE

Nas tabelas 6.3 e 6.4, são apresentados os resultados obtidos para os 12 postos pluviométricos, utilizando-se os testes “F” e “t”.

Os resultados das tabelas 6.3 e 6.4 confirmam as análises de tendência mostrando de modo geral nas bacias uma estabilidade da chuva ao longo do tempo. Pela tabela 6.3 os postos: São José do Barreiro, Fazenda Três Barras, Guaratinguetá e Taubaté apresentam instabilidade em termos de variância, o que significa que estes postos não devem ser utilizados para análises posteriores. É importante observar que, de um modo geral as diferenças entre os valores calculados e os intervalos de aceitação são, na maioria dos postos instáveis, muito pequenas e, em 3 deles, apenas em um nível de significância, exceto para o Posto São José do Barreiro que, possivelmente devido a muitas falhas existentes na série, apresenta alteração estatística significativa em termos de variância, ao contrário dos demais postos que apresentam instabilidade. Ressalta-se aqui que, mesmo apesar dos postos instáveis em termos de variância significarem a não utilização em outras análises, estes foram analisados para efeito de complemento do estudo.

Analizando a tabela 6.4, podemos observar que: o Posto São José do Barreiro e o Posto Bairro Alto apresentam instabilidade para o 2º período da análise e o Posto Catucaba para o 1º período

de análise. De maneira similar à análise da variância pode-se concluir que estes postos não apresentam alterações estatísticas significativas em termos de média, isto é, as séries deste postos apresentam-se, de maneira geral, sem flutuações significativas em torno da média dos valores.

Sendo assim, pode-se concluir que de modo geral, não foram detectadas mudanças significativas no regime pluviométrico das bacias.

TABELA 6.1: Postos Pluviométricos – Método *Rank Correlation*

Nome	Bacia	Período	t calculado	Nível de Significância (%)			Tendência
				98	95	90	
				Intervalo t (tabelado)	Intervalo t (tabelado)	Intervalo t (tabelado)	
São José do Barreiro	Paraíba do Sul	1943 - 1997	4.53	-2.40 – 2.40	-2.01 – 2.01	-1.68 – 1.68	Existe
Fazenda Três Barras	Ribeirão Tabuão	1958 – 1994	-1.27	-2.44 – 2.44	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Não existe
Fazenda do Cume	Jacuí	1958 – 1997	1.34	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Não existe
Natividade da Serra	Paraibuna	1940 – 1997	1.25	-2.40 – 2.40	-2.00 – 2.00	-1.67 – 1.67	Não existe
Bairro Alto	Paraibuna	1940 – 1997	0.41	-2.40 – 2.40	-2.00 – 2.00	-1.67 – 1.67	Não existe
Catucaba	Paraitinga	1948 – 1997	4.03	-2.41 – 2.41	-2.01 – 2.01	-1.68 – 1.68	Existe
Bocaina	Paraíba do Sul	1938 – 1997	-1.29	-2.39 – 2.39	-2.00 – 2.00	-1.67 – 1.67	Não existe
Estrada de Cunha	Paraitinga	1938 – 1997	0.51	-2.39 – 2.39	-2.00 – 2.00	-1.67 – 1.67	Não existe
Guaratinguetá	Paraíba do Sul	1938 - 1997	1.83	-2.39 – 2.39	-2.00 – 2.00	-1.67 – 1.67	Não existe / Existe
Taubaté	Paraíba do Sul	1938 – 1997	0.72	-2.39 – 2.39	-2.00 – 2.00	-1.67 – 1.67	Não existe
São Luís do Paraitinga	Paraitinga	1938 – 1997	1.08	-2.39 – 2.39	-2.00 – 2.00	-1.67 – 1.67	Não existe
Ponte Alta	Paraitinga	1938 - 1997	-0.12	-2.39 – 2.39	-2.00 – 2.00	-1.67 – 1.67	Não existe

**TABELA 6.2 : Postos Pluviométricos – Método da Regressão Linear**

Nome	Bacia	Período	Coeficiente angular	t calculado	Nível de Significância (%)			Tendência
					98	95	90	
					Intervalo t (tabelado)	Intervalo t (tabelado)	Intervalo t (tabelado)	
São José do Barreiro	Paraíba do Sul	1943 - 1997	10.97	4.95	-2.40 – 2.40	-2.01 – 2.01	-1.68 – 1.68	Existe
Fazenda Três Barras	Ribeirão Tabuão	1958 – 1994	-3.61	-0.95	-2.44 – 2.44	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Não Existe
Fazenda do Cume	Jacuí	1958 – 1997	4.59	1.37	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Não Existe
Natividade da Serra	Paraibuna	1940 – 1997	2.09	1.28	-2.40 – 2.40	-2.00 – 2.00	-1.67 – 1.67	Não Existe
Bairro Alto	Paraibuna	1940 – 1997	1.42	0.63	-2.40 – 2.40	-2.00 – 2.00	-1.67 – 1.67	Não Existe
Catucaba	Paraitinga	1948 – 1997	8.56	4.05	-2.41 – 2.41	-2.01 – 2.01	-1.68 – 1.68	Existe
Bocaina	Paraíba do Sul	1938 – 1997	-2.41	-1.45	-2.39 – 2.39	-2.00 – 2.00	-1.67 – 1.67	Não Existe
Estrada de Cunha	Paraitinga	1938 – 1997	0.28	0.14	-2.39 – 2.39	-2.00 – 2.00	-1.67 – 1.67	Não Existe
Guaratinguetá	Paraíba do Sul	1938 - 1997	2.93	1.32	-2.39 – 2.39	-2.00 – 2.00	-1.67 – 1.67	Não Existe
Taubaté	Paraíba do Sul	1938 – 1997	1.39	0.76	-2.39 – 2.39	-2.00 – 2.00	-1.67 – 1.67	Não Existe
São Luís do Paraitinga	Paraitinga	1938 – 1997	2.27	1.35	-2.39 – 2.39	-2.00 – 2.00	-1.67 – 1.67	Não Existe
Ponte Alta	Paraitinga	1938 - 1997	-0.03	-0.01	-2.39 – 2.39	-2.00 – 2.00	-1.67 – 1.67	Não Existe

TABELA 6.3: Postos Pluviométricos – Análise da Variância (Teste “F”)

Nome	Bacia	Período	Média	Valor f calculado	Nível de Significância (%)			Estabilidade
					98	95	90	
					Intervalo de Aceitação	Intervalo de Aceitação	Intervalo de Aceitação	
São José do Barreiro	Paraíba do Sul	43/60 – 61/78	1443.50/1516.84	3.47	-3.25 – 3.25	-2.68 – 2.68	-2.28 – 2.28	Instável
		61/78 – 79/97	1516.84/1840.06	4.61	-3.22 – 3.22	-2.66 – 2.66	-2.26 – 2.26	Instável
Fazenda Três Barras	Ribeirão Tabuão	58/69 – 70/81 70/81 – 82/94	1485.62/1438.31 1438.31/1466.61	2.81 4.51	-4.47 – 4.47 -4.40 – 4.40	-3.48 – 3.48 -3.43 – 3.43	-2.82 – 2.82 -2.79 – 2.79	Estável Instável
Fazenda do Cume	Jacuí	58/71 – 72/83	1319.87/1358.56	1.38	-4.03 – 4.03	-3.20 – 3.20	-2.63 – 2.63	Estável
		72/83 – 84/97	1358.56/1397.64	1.17	-4.35 – 4.35	-3.40 – 3.40	-2.77 – 2.77	Estável
Natividade da Serra	Paraibuna	40/59 – 60/79	1205.84/1278.47	1.67	-3.03 – 3.03	-2.53 – 2.53	-2.17 – 2.17	Estável
		60-79 – 80/97	1278.47/1289.27	1.82	-3.09 – 3.09	-2.58 – 2.58	-2.20 – 2.20	Estável
Bairro Alto	Paraibuna	40/59 – 60/79	1436.06/1339.11	1.75	-3.03 – 3.03	-2.53 – 2.53	-2.17 – 2.17	Estável
		60/79 – 80/97	1339.11/1496.76	1.04	-3.09 – 3.09	-2.58 – 2.58	-2.20 – 2.20	Estável
Catucaba	Paraitinga	48/64 – 65/81	1019.18/1255.27	1.13	-3.38 – 3.38	-2.77 – 2.77	-2.34 – 2.34	Estável
		65/81 – 82/97	1255.27/1352.74	2.19	-3.41 – 3.41	-2.79 – 2.79	-2.35 – 2.35	Estável
Bocaina	Paraíba Do Sul	38/57 – 58/77	1427.84/1394.16	1.28	-3.03 – 3.03	-2.53 – 2.53	-2.17 – 2.17	Estável
		58/77 – 78/97	1394.16/1330.05	1.13	-3.03 – 3.03	-2.53 – 2.53	-2.17 – 2.17	Estável
Estrada do Cunha	Paraitinga	38/57 – 58/77	1384.93/1511.13	1.01	-3.03 – 3.03	-2.53 – 2.53	-2.17 – 2.17	Estável
		58/77 – 78/97	1511.13/1426.32	1.44	-3.03 – 3.03	-2.53 – 2.53	-2.17 – 2.17	Estável
Guaratinguetá	Paraíba Do Sul	38/57 – 58/77	1295.05/1283.55	3.44	-3.03 – 3.03	-2.53 – 2.53	-2.17 – 2.17	Instável
		58/77 – 78/97	1283.55/1458.67	1.21	-3.03 – 3.03	-2.53 – 2.53	-2.17 – 2.17	Estável

**TABELA 6.3: Postos Pluviométricos – Análise da Variância (Teste “F”)**

Nome	Bacia	Período	Média	Valor f calculado	Nível de Significância (%)			Estabilidade
					98	95	90	
					Intervalo de Aceitação	Intervalo de Aceitação	Intervalo de Aceitação	
Taubaté	Paraíba	38/57 – 58/77	1242.84/1344.52	3.32	-3.03 – 3.03	-2.53 – 2.53	-2.17 – 2.17	Instável
	Do Sul	58/77 – 78/97	1344.52/1275.79	1.20	-3.03 – 3.03	-2.53 – 2.53	-2.17 – 2.17	Estável
São Luís do Paraitinga	Paraitinga	38/57 – 58/77	1201.47/1231.42	1.04	-3.03 – 3.03	-2.53 – 2.53	-2.17 – 2.17	Estável
		58/77 – 78/97	1231.42/1306.72	1.49	-3.03 – 3.03	-2.53 – 2.53	-2.17 – 2.17	Estável
Ponte Alta	Paraitinga	38/57 – 58/77	2018.24/2019.94	1.21	-3.03 – 3.03	-2.53 – 2.53	-2.17 – 2.17	Estável
		58/77 – 78/97	2019.94/2019.71	1.12	-3.03 – 3.03	-2.53 – 2.53	-2.17 – 2.17	Estável

TABELA 6.4: Postos Pluviométricos – Análise da Média (Teste “t”)

Nome	Bacia	Período	Média	Valor t calculado	Nível de Significância (%)			Estabilidade
					98	95	90	
					Intervalo de Aceitação	Intervalo de Aceitação	Intervalo de Aceitação	
São José do Barreiro	Paraíba do Sul	43/60 – 61/78	1443.50/1516.84	-0.98	-2.44 – 2.44	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
		61/78 – 79/97	1516.84/1840.06	-3.86	-2.44 – 2.44	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Instável
Fazenda Três Barras	Ribeirão Tabuão	58/69 – 70/81	1485.62/1438.31	0.56	-2.51 – 2.51	-2.07 – 2.07	-1.72 – 1.72	Estável
		70/81 – 82/94	1438.31/1466.61	-0.28	-2.50 – 2.50	-2.07 – 2.07	-1.71 – 1.71	Estável
Fazenda do Cume	Jacuí	58/71 – 72/83	1319.87/1358.56	-0.41	-2.49 – 2.49	-2.06 – 2.06	-1.71 – 1.71	Estável
		72/83 – 84/97	1358.56/1397.64	-0.37	-2.49 – 2.49	-2.06 – 2.06	-1.71 – 1.71	Estável
Natividade da Serra	Paraibuna	40/59 – 60/79	1205.84/1278.47	-1.16	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
		60-79 – 80/97	1278.47/1289.27	-0.16	-2.44 – 2.44	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
Bairro Alto	Paraibuna	40/59 – 60/79	1436.06/1339.11	1.05	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
		60/79 – 80/97	1339.11/1496.76	-1.93	-2.44 – 2.44	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável/ Instável
Catucaba	Paraitinga	48/64 – 65/81	1019.18/1255.27	-3.84	-2.45 – 2.45	-2.04 – 2.04	-1.69 – 1.69	Instável
		65/81 – 82/97	1255.27/1352.74	-1.28	-2.45 – 2.45	-2.04 – 2.04	-1.70 – 1.70	Estável
Bocaina	Paraíba do Sul	38/57 – 58/77	1427.84/1394.16	0.47	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
		58/77 – 78/97	1394.16/1330.05	0.93	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
Estrada do Cunha	Paraitinga	38/57 – 58/77	1384.93/1511.13	-1.42	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
		58/77 – 78/97	1511.13/1426.32	1.04	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
Guaratinguetá	Paraíba do Sul	38/57 – 58/77	1295.05/1283.55	0.14	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
		58/77 – 78/97	1283.55/1458.67	-1.63	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável

**TABELA 6.4: Postos Pluviométricos – Análise da Média (Teste “t”)**

Nome	Bacia	Período	Média	Valor t calculado	Nível de Significância (%)			Estabilidade
					98	95	90	
					Intervalo de Aceitação	Intervalo de Aceitação	Intervalo de Aceitação	
Taubaté	Paraíba do Sul	38/57 – 58/77	1242.84/1344.52	-1.37	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
		58/77 – 78/97	1344.52/1275.79	0.78	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
São Luís do Paraitinga	Paraitinga	38/57 – 58/77	1201.47/1231.42	-0.39	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
		58/77 – 78/97	1231.42/1306.72	-1.08	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
Ponte Alta	Paraitinga	38/57 – 58/77	2018.24/2019.94	-0.02	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
		58/77 – 78/97	2019.94/2019.71	0.00	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável

## 6.2.2 POSTOS FLUVIOMÉTRICOS

### 6.2.2.1 ANÁLISE DE TENDÊNCIA

Inicialmente foi feita a análise para todo o período de dados fluviométricos de cada posto. A tabela 6.5 mostra os resultados obtidos utilizando o método do *Rank Correlation* e a tabela 6.6 mostra os resultados obtidos através da Regressão Linear, ambos para 5 postos fluviométricos selecionados.

Através da tabela 6.5, pode-se verificar que, os postos São Luís do Paraitinga e Estrada de Cunha apresentam tendência, sendo que a tendência do posto São Luís do Paraitinga, é muito pequena (nível de 90%), não sendo esta significativa, ao contrário de Estrada de Cunha. Esta tendência mostra que esta série não se encontra estacionária ao longo dos anos no período 1934-1995. Este fato pode ser devido a diversos fatores, como por exemplo erros nas medições ou alterações no uso e ocupação do solo. Já o Posto Ponte Alta não apresenta tendência ao longo período de observação.

Analizando-se a tabela 6.6, verifica-se que os mesmos postos que apresentam tendência na análise anterior repetem-se na análise da regressão linear, confirmando-se assim alterações estatísticas nas séries destes dois postos, sendo esta mais significativa para o posto Estrada do Cunha.

Para uma análise mais completa realizaram-se os testes de tendência para o período mais recente das séries (1958 – 1994) dos Posto Estrada de Cunha e Ponte Alta. Com esta análise pretende-se avaliar realmente se as séries sofreram alterações neste período. Os resultados desta análise encontram-se nas tabelas 6.7 e 6.8. Da análise das tabelas 6.7 e 6.8, pode-se verificar que no período mais recente as séries destes postos não apresentam tendência para o período selecionado.

**TABELA 6.5:** Postos Fluviométricos – Método *Rank Correlation*

Nome	Bacia	Período	Nível de Significância (%)	t calculado	Intervalo de t tabelado	Tendência
Ponte Alta	Paraibuna	1934 – 1995	98	-0.26	-2.39 – 2.39	Não Existe
			95	-0.26	-2.00 – 2.00	Não Existe
			90	-0.26	-1.67 – 1.67	Não Existe
Faz. Palmeiras	Paraibuna	1977 – 1999	98	-0.52	-2.52 – 2.52	Não Existe
			95	-0.52	-2.08 – 2.08	Não Existe
			90	-0.52	-1.72 – 2.08	Não Existe
São Luís do Paraitinga	Paraitinga	1976 – 1999	98	1.28	-2.52 – 2.52	Não Existe
			95	1.28	-2.08 – 2.08	Não Existe
			90	1.28	-1.72 – 2.08	Não Existe
São Luís do Paraitinga	Paraitinga	1931 – 1974	98	1.99	-2.42 – 2.42	Não Existe
			95	1.99	-2.02 – 2.02	Não Existe
			90	1.99	-1.68 – 1.68	Existe
Estrada do Cunha	Paraitinga	1934 – 1995	98	3.21	-2.39 – 2.39	Existe
			95	3.21	-2.00 – 2.00	Existe
			90	3.21	-1.67 – 1.67	Existe

TABELA 6.6: Postos Fluviométricos – Método da Regressão Linear

Nome	Bacia	Período	Nível de Significância (%)	Coeficiente Angular	t calculado	Intervalo de t tabelado	Tendência
Ponte Alta	Paraibuna	1934 – 1995	98	0.00	-0.39	-2.39 – 2.39	Não Existe
			95	0.00	-0.39	-2.00 – 2.00	Não Existe
			90	0.00	-0.39	-1.67 – 1.67	Não Existe
Faz. Palmeiras	Paraibuna	1977 – 1999	98	-0.05	-0.49	-2.52 – 2.52	Não Existe
			95	-0.05	-0.49	-2.08 – 2.08	Não Existe
			90	-0.05	-0.49	-1.72 – 2.08	Não Existe
São Luís do Paraitinga	Paraitinga	1976 – 1999	98	0.22	1.02	-2.52 – 2.52	Não Existe
			95	0.22	1.02	-2.08 – 2.08	Não Existe
			90	0.22	1.02	-1.72 – 2.08	Não Existe
São Luís do Paraitinga	Paraitinga	1931 – 1974	98	0.16	2.15	-2.42 – 2.42	Não Existe
			95	0.16	2.15	-2.02 – 2.02	Existe
			90	0.16	2.15	-1.68 – 1.68	Existe
Estrada do Cunha	Paraitinga	1934 – 1995	98	0.06	2.77	-2.39 – 2.39	Existe
			95	0.06	2.77	-2.00 – 2.00	Existe
			90	0.06	2.77	-1.67 – 1.67	Existe

**TABELA 6.7:** Postos Fluviométricos - Análise de Tendência / *Rank Correlation* para o Período de Estudo mais recente

Nome	Bacia	Período	Nível de Significância (%)	t calculado	Intervalo de t Tabelado	Tendência
Ponte Alta	Paraibuna	1958 – 1994	98	-1.43	-2.44 – 2.44	Não Existe
			95	-1.43	-2.03 – 2.03	Não Existe
			90	-1.43	-1.69 – 1.69	Não Existe
Estrada do Cunha	Paraitinga	1958 – 1994	98	0.09	-2.44 – 2.44	Não Existe
			95	0.09	-2.03 – 2.03	Não Existe
			90	0.09	-1.69 – 1.69	Não Existe

**TABELA 6.8:** Análise de Tendência / Regressão Linear para o Período de Estudo mais recente

Nome	Bacia	Período	Nível de Significância (%)	Coeficiente Angular	t calculado	Intervalo de t tabelado	Tendência
Ponte Alta	Paraibuna	1958 – 1994	98	-0.04	-1.51	-2.44 – 2.44	Não Existe
			95	-0.04	-1.51	-2.03 – 2.03	Não Existe
			90	-0.04	-1.51	-1.69 – 1.69	Não Existe
Estrada do Cunha	Paraitinga	1958 – 1995	98	0.00	0.10	-2.44 – 2.44	Não Existe
			95	0.00	0.10	-2.03 – 2.03	Não Existe
			90	0.00	0.10	-1.69 – 1.69	Não Existe

### **6.2.2.2 ANÁLISE DE ESTABILIDADE**

Os resultados obtidos são apresentados na tabela 6.9 e 6.10.

Pela análise da tabela 6.9, observa-se novamente instabilidade no Posto Estrada de Cunha para o período mais antigo, sendo que aqui em termos de variância, indicando que a série torna-se duvidosa em outras análises. Mas como feito anteriormente as análises serão repetidas para complemento do estudo.

Da análise da tabela 6.10 verifica-se que os valores de vazão encontram-se estáveis em torno da média, mostrando assim estacionariedade dos valores em torno da média.

Para complemento das análises serão feitos os testes estatísticos de estabilidade para o Posto Ponte Alta e Estrada de Cunha para o período mais recente (1958 – 1994), com o objetivo de verificar se as séries sofreram alterações neste período. Os resultados desta análise encontram-se nas tabelas 6.11 e 6.12.

De acordo com o que se observa nas tabelas 6.11 e 6.12, as séries dos postos Ponte Alta e Estrada de Cunha não apresentam instabilidade para o período mais recente.

**TABELA 6.9:** Postos Fluviométricos – Análise da Variância (Teste “F”)

Nome	Bacia	Período	Média	Valor f calculado	Nível de Significância (%)			Estabilidade
					98	95	90	
					Intervalo de Aceitação	Intervalo de Aceitação	Intervalo de Aceitação	
Ponte Alta	Paraibuna	34/53 – 54/73	8.61/8.73	1.16	-3.03 – 3.03	-2.53 – 2.53	-2.17 – 2.17	Estável
		54/73 – 74/95	8.73/8.12	1.03	-2.91 – 2.91	-2.44 – 2.44	-2.12 – 2.12	Estável
Fazenda Palmeiras	Paraibuna	77/88 – 89/99	14.60/12.78	2.30	-4.78 – 4.78	-3.67 – 3.67	-2.95 – 2.95	Estável
São Luís do Paraitinga	Paraitinga	77/88 – 89/99	31.07/31.36	1.09	-4.78 – 4.78	-3.67 – 3.67	-2.95 – 2.95	Estável
São Luís do Paraitinga	Paraitinga	31/53 – 54/74	27.29/29.74	1.96	-2.83 – 2.83	-2.39 – 2.39	-2.07 – 2.07	Estável
Estrada de Cunha	Paraitinga	34/53 – 54/73	11.15/12.19	4.24	-3.03 – 3.03	-2.53 – 2.53	-2.17 – 2.17	Instável
		54/73 – 74/95	12.19/13.50	1.71	-2.91 – 2.91	-2.44 – 2.44	-2.12 – 2.12	Estável

**TABELA 6.10:** Postos Fluviométricos – Análise da média (Teste “t”)

Nome	Bacia	Período	Média	Valor t calculado	Nível de Significância (%)			Estabilidade
					98	95	90	
					Intervalo de Aceitação	Intervalo de Aceitação	Intervalo de Aceitação	
Ponte Alta	Paraibuna	34/53 – 54/73	8.61/8.73	-0.22	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
		54/73 – 74/95	8.73/8.12	1.11	-2.42 – 2.42	-2.02 – 2.02	-1.68 – 1.68	
Fazenda Palmeiras	Paraibuna	77/88 – 89/99	14.60/12.78	1.45	-2.52 – 2.52	-2.08 – 2.08	-1.72 – 1.72	Estável
São Luís do Paraitinga	Paraitinga	77/88 – 89/99	31.07/31.36	-0.10	-2.52 – 2.52	-2.08 – 2.08	-1.72 – 1.72	Estável
São Luís do Paraitinga	Paraitinga	31/53 – 54/74	27.29/29.74	-1.23	-2.42 – 2.42	-2.02 – 2.02	-1.68 – 1.68	Estável
Estrada do Cunha	Paraitinga	34/53 – 54/73	11.15/12.19	-1.09	-2.43 – 2.43	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
		54/73 – 74/95	12.19/13.50	-1.25	-2.42 – 2.42	-2.02 – 2.02	-1.68 – 1.68	

TABELA 6.11 Postos Fluviométricos - Análise da Variância (Teste “F”) para o período de estudo mais recente

Nome	Bacia	Período	Média	f calculado	Nível			Estabilidade
					98	95	90	
					Intervalo	Intervalo	Intervalo	
Ponte Alta	Paraibuna	1958 – 1976	8.79	1.34	-3.22 – 3.22	-2.66 – 2.66	-2.26 – 2.26	Estável
		1977 - 1994	8.22					
Estrada do Cunha	Paraitinga	1958 – 1976	13.31	1.50	-3.22 – 3.22	-2.66 – 2.66	-2.26 – 2.26	Estável
		1977 - 1994	13.40					

96

TABELA 6.12: Análise da média (Teste “t”) para o período de estudo mais recente

Nome	Bacia	Período	Média	t calculado	Nível			Estabilidade
					98	95	90	
					Intervalo	Intervalo	Intervalo	
Ponte Alta	Paraibuna	1958 – 1976	8.79	0.95	-2.44 – 2.44	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
		1977 - 1994	8.22					
Estrada do Cunha	Paraitinga	1958 – 1976	13.31	-0.09	-2.44 – 2.44	-2.03 – 2.03	-1.69 – 1.69	Estável
		1977 - 1994	13.40					

## **6.3 ANÁLISE ATRAVÉS DO MODELO CHUVA-DEFLÚVIO**

O modelo foi aplicado para as sub-bacias, localizadas uma em cada bacia selecionada para o estudo, isto é, foram escolhidas duas seções fluviométricas, de onde foram traçadas as sub-bacias. O motivo desta escolha deveu-se ao fato destes dois postos fluviométricos possuírem dados mais antigos e, a princípio, sem falhas em comparação com os outros postos que se encontravam na bacia. As sub-bacias selecionadas foram: Estrada de Cunha na bacia do Paraitinga e Ponte Alta na bacia do Paraíbuna.

A calibragem do modelo foi feita para os anos de 1989, 1991 e 1993 e a validação para os anos de 1990, 1992 e 1994, tomando-se como base o ano hidrológico (Agosto – Julho). Esta intercalação de anos foi feita tendo em vista melhor considerar eventuais variações no uso do solo nesse período. Ressalta-se aqui que a calibragem e validação foram feitas para o período atual, que foi considerado como base, processando, posteriormente, o modelo para o restante do período de estudo (1958 – 1994).

Primeiramente serão mostrados os valores dos parâmetros resultantes da calibragem para as duas sub-bacias analisadas: Ponte Alta e Estrada de Cunha. A seguir, através do quadro 6.1 é mostrado o comparativo das vazões médias observadas e calculadas para o período de calibração e validação nos postos: Estrada de Cunha e Ponte Alta e, após é mostrado através dos quadros 6.2 e 6.3 os comparativos as vazões calculadas pelo modelo com as vazões observadas para o período considerado (1958-1994) e, por fim serão apresentadas tabelas com os resultados das análises estatísticas das séries geradas pelo modelo.

### **6.3.1 PARÂMETROS CALIBRADOS**

#### **6.3.1.1 SUB-BACIA PONTE ALTA**

Os valores apresentados nas tabelas 6.13, 6.14 e 6.15 referem-se ao resultado da calibragem obtida para a sub-bacia de Ponte Alta.

**TABELA 6.13:** Parâmetros Resultantes da Calibração – Ponte Alta (1)

PONTO	SMI (cm)	ROP (%)	BII (cm/dia)	BFP (%)	RS (cm/h)	RGS (cm)	PmT (cm)	KET (%)
1	0.0	7.0	0	70.0	0	0	0.0	75.0
2	5.0	10.0	0.10	49.0	0.07	0.10	5.0	65.0
3	10.0	17.0	0.20	40.0	0.18	0.20	10.0	55.0
4	20.0	33.0	0.30	30.0	0.38	0.40	15.0	45.0
5	30.0	43.0	0.40	25.0	0.58	0.60	30.0	30.0
6	50.0	55.0	0.50	20.0	0.78	0.80	40.0	20.0
7	65.0	80.0	0.80	20.0	0.98	0.99	80.0	19.0
8	1000.0	99.0	10.0	20.0	0.99	1.00	90.0	19.0

**TABELA 6.14:** Parâmetros Resultantes da Calibração – Ponte Alta (2)

Parâmetros	Valores Calibrados
Valor Inicial de SMI (cm)	30.0
Valor Inicial de BII (cm/dia)	0.01
Valor de TSBII (h)	500.0
TB (h)	700.0
TT (h)	100.0
TS (h)	2.0
FB (adimensional)	3
FT (adimensional)	4
FS (adimensional)	5
KTS (adimensional)	150.0
NC (adimensional)	1.0
FC	2.0
QBI ( $m^3/s$ )	5.0
QTI ( $m^3/s$ )	5.0
QSI ( $m^3/s$ )	5.0
QCI ( $m^3/s$ )	5.0

**TABELA 6.15:** Totais Mensais de Evaporação – Ponte Alta

Meses	Valores (mm)
Janeiro	125
Fevereiro	111.9
Março	113.8
Abril	81.2
Maio	63.3
Junho	52.5
Julho	63.7
Agosto	81.4
Setembro	91.2
Outubro	120.0
Novembro	105.2
Dezembro	115.8

#### 6.3.1.2 SUB-BACIA ESTRADA DE CUNHA

Os valores apresentados nas tabelas 6.16, 6.17 e 6.18 referem-se ao resultado da calibração obtida para a sub-bacia de Estrada de Cunha.

**TABELA 6.16:** Parâmetros Resultantes da Calibração – Estrada de Cunha (1)

PONTO	SMI (cm)	ROP (%)	BII (cm/dia)	BFP (%)	RS (cm/h)	RGS (cm)	PmT (cm)	KET (%)
1	0.0	10.0	0	70.0	0	0	0.0	75.0
2	5.0	12.0	0.10	49.0	0.07	0.10	5.0	65.0
3	10.0	13.0	0.20	40.0	0.18	0.20	10.0	55.0
4	20.0	18.0	0.30	30.0	0.38	0.40	15.0	45.0
5	30.0	23.0	0.40	25.0	0.58	0.60	30.0	30.0
6	50.0	33.0	0.50	20.0	0.78	0.80	40.0	20.0
7	65.0	39.0	0.80	20.0	0.98	0.99	80.0	19.0
8	1000.0	47.0	10.0	20.0	0.99	1.00	90.0	19.0

**TABELA 6.17:** Parâmetros Resultantes da Calibração – Estrada de Cunha (2)

Parâmetros	Valores Calibrados
Valor Inicial de SMI (cm)	30.0
Valor Inicial de BII (cm/dia)	0.01
Valor de TSBII (h)	500.0
TB (h)	1200.0
TT (h)	300.0
TS (h)	10.0
FB (adimensional)	6
FT (adimensional)	5
FS (adimensional)	4
KTS (adimensional)	100.0
NC (adimensional)	1.0
FC	2.0
QBI ( $m^3/s$ )	6.0
QTI ( $m^3/s$ )	1.0
QSI ( $m^3/s$ )	1.0
QCI ( $m^3/s$ )	6.0

**TABELA 6.18:** Totais Mensais de Evaporação – Estrada de Cunha

Meses	Valores (mm)
Janeiro	125
Fevereiro	111.9
Março	113.8
Abril	81.2
Maio	63.3
Junho	52.5
Julho	63.7
Agosto	81.4
Setembro	91.2
Outubro	120.0
Novembro	105.2
Dezembro	115.8

### 6.3.2 ANÁLISES DOS RESULTADOS DA CALIBRAGEM

No quadro 6.1 é feito uma comparação entre as vazões médias observadas e calculadas para os períodos de calibragem e de validação para os dois postos, com as respectivas diferenças percentuais. Em vista dos resultados obtidos a calibragem foi aceita.

**QUADRO 6.1:** Quadro comparativo das vazões médias observadas e calculadas para o período de calibração e validação nos postos: Estrada de Cunha e Ponte Alta

Posto	Calibragem (1989/1991/1993)			Validação (1990/1992/1994)		
	Vazões Médias Observadas (m <sup>3</sup> /s)	Vazões Médias Calculadas (m <sup>3</sup> /s)	Diferença Percentual (%)	Vazões Médias Observadas (m <sup>3</sup> /s)	Vazões Médias Calculadas (m <sup>3</sup> /s)	Diferença Percentual (%)
Estrada de Cunha	10.44	10.30	1.34	12.52	12.44	0.64
Ponte Alta	6.79	6.61	2.65	8.12	8.38	3.2%

Em vista destes resultados são apresentados a seguir, os resultados obtidos para as sub-bacias Ponte Alta e Estrada de Cunha.

#### 6.3.2.1 SUB-BACIA PONTE ALTA

As figuras 6.10 a 6.15 ilustram os ajustes obtidos para Ponte Alta.

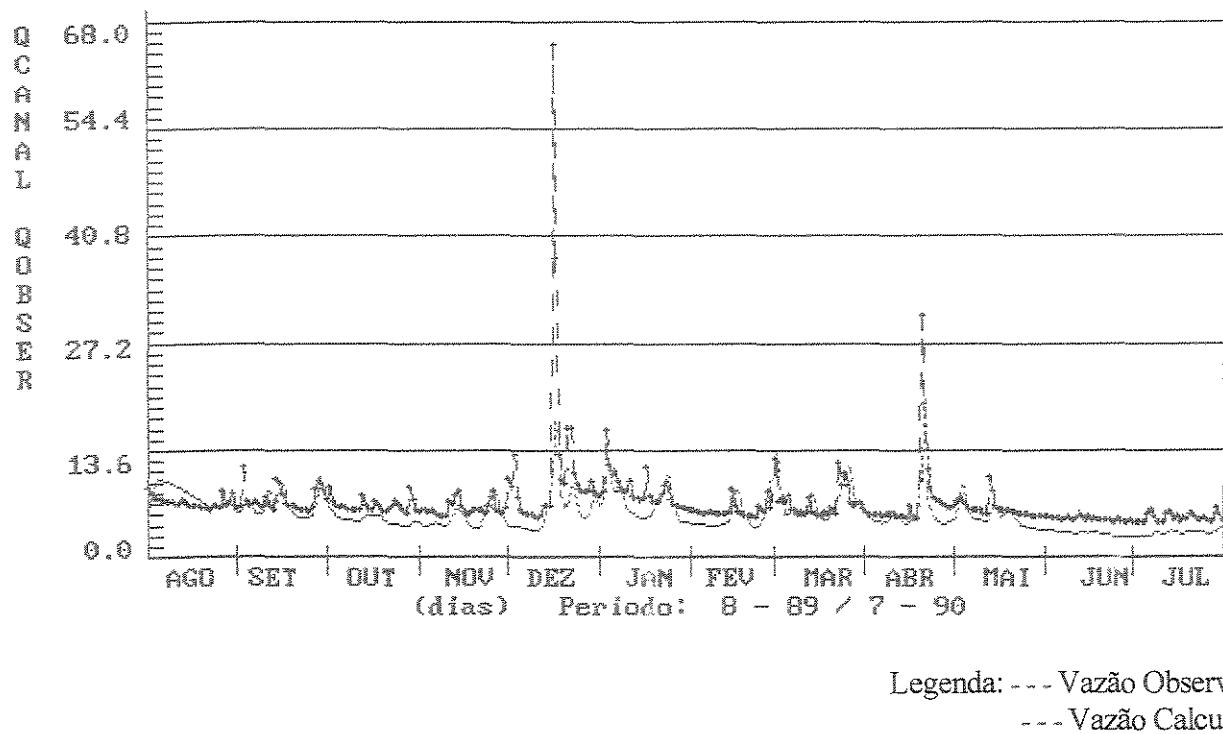
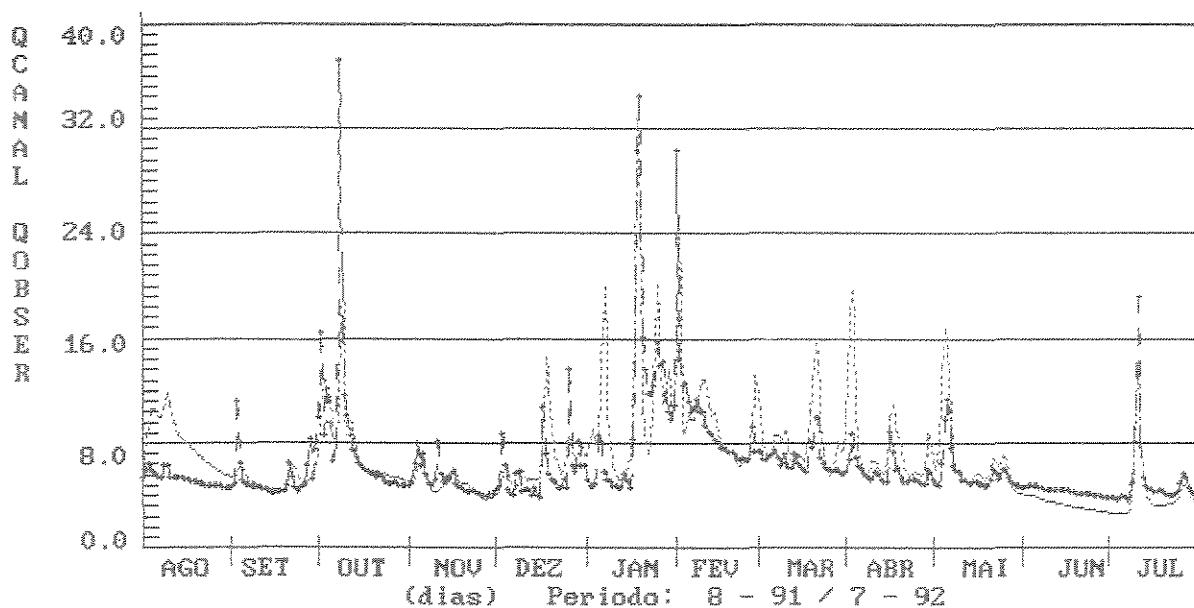
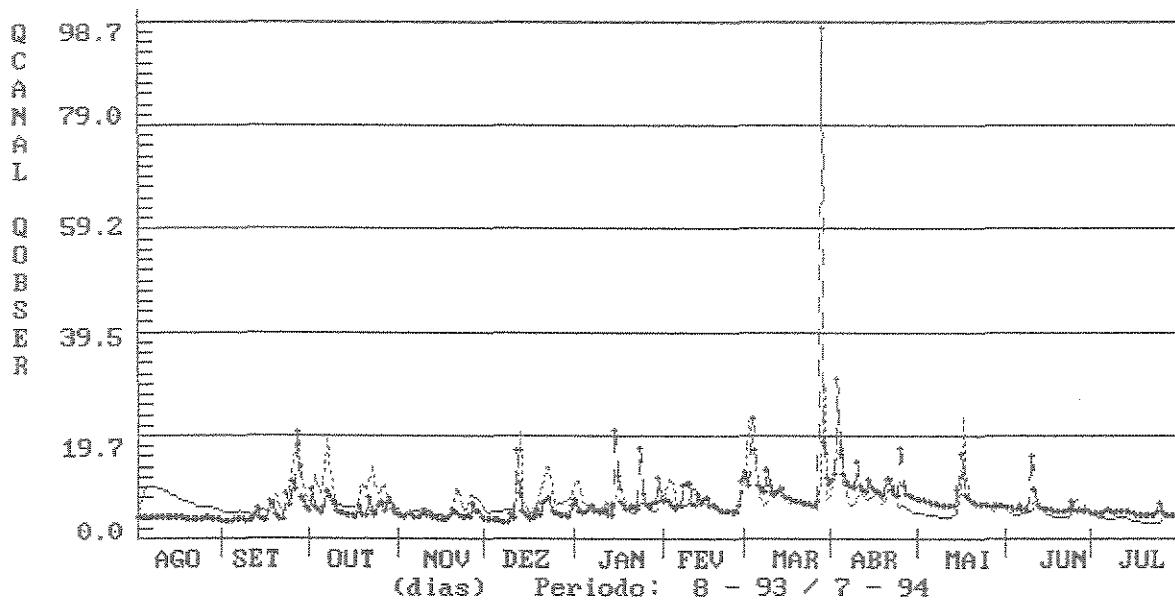


FIGURA 6.10: Ponte Alta– Calibragem para o ano de 1989



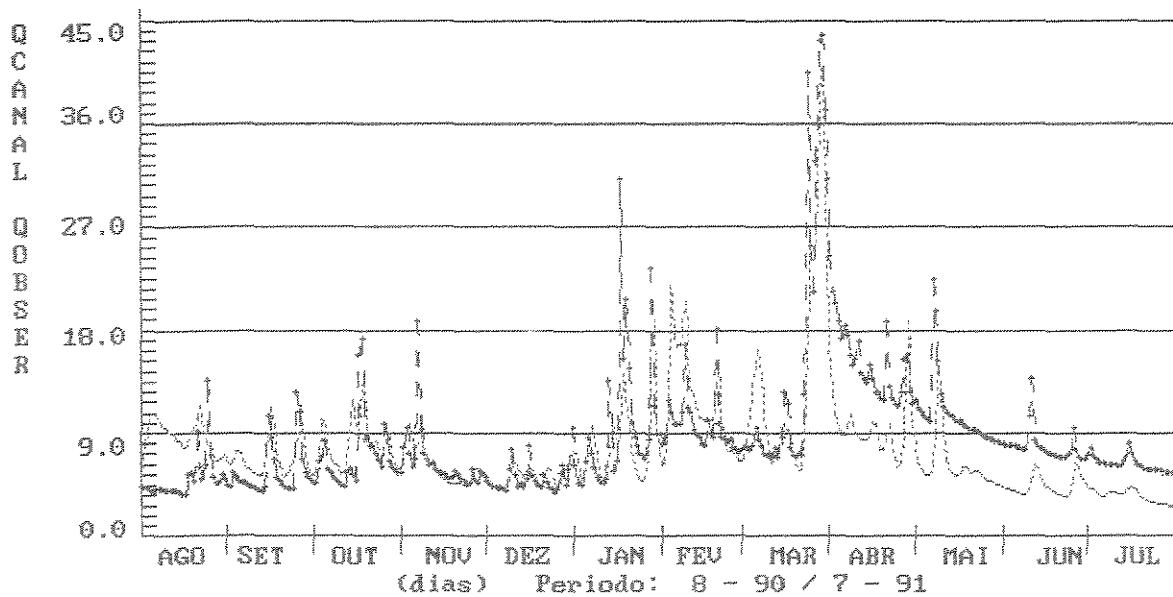
Legenda: --- Vazão Observada  
- - - Vazão Calculada

FIGURA 6.11: Ponte Alta – Calibragem para o ano de 1991.



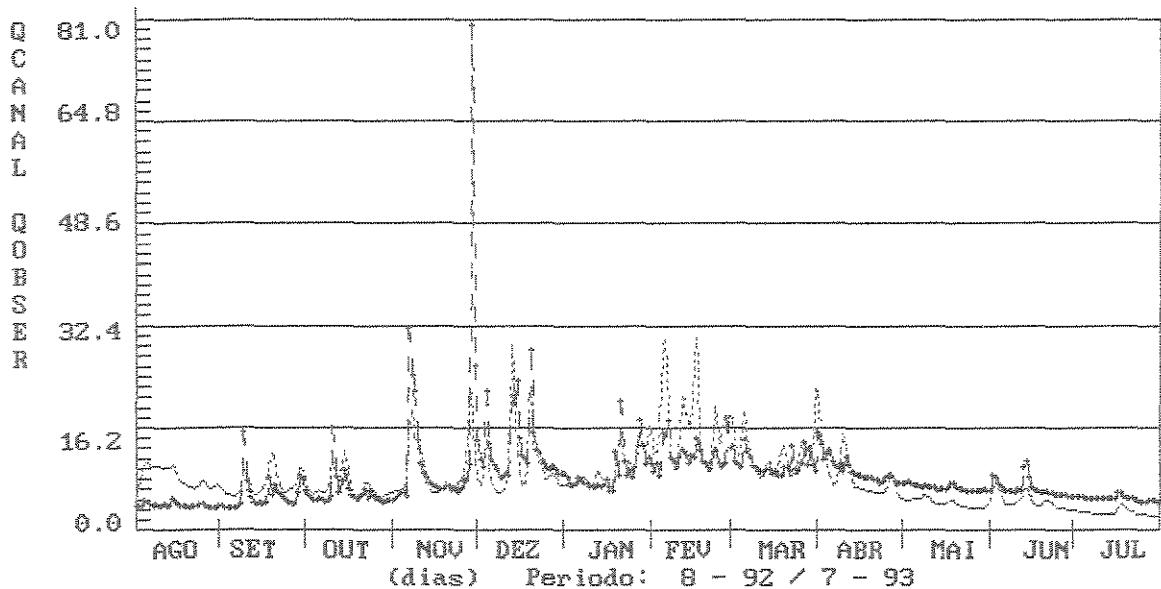
Legenda: --- Vazão Observada  
- - - Vazão Calculada

FIGURA 6.12: Ponte Alta – Calibragem para o ano de 1993.



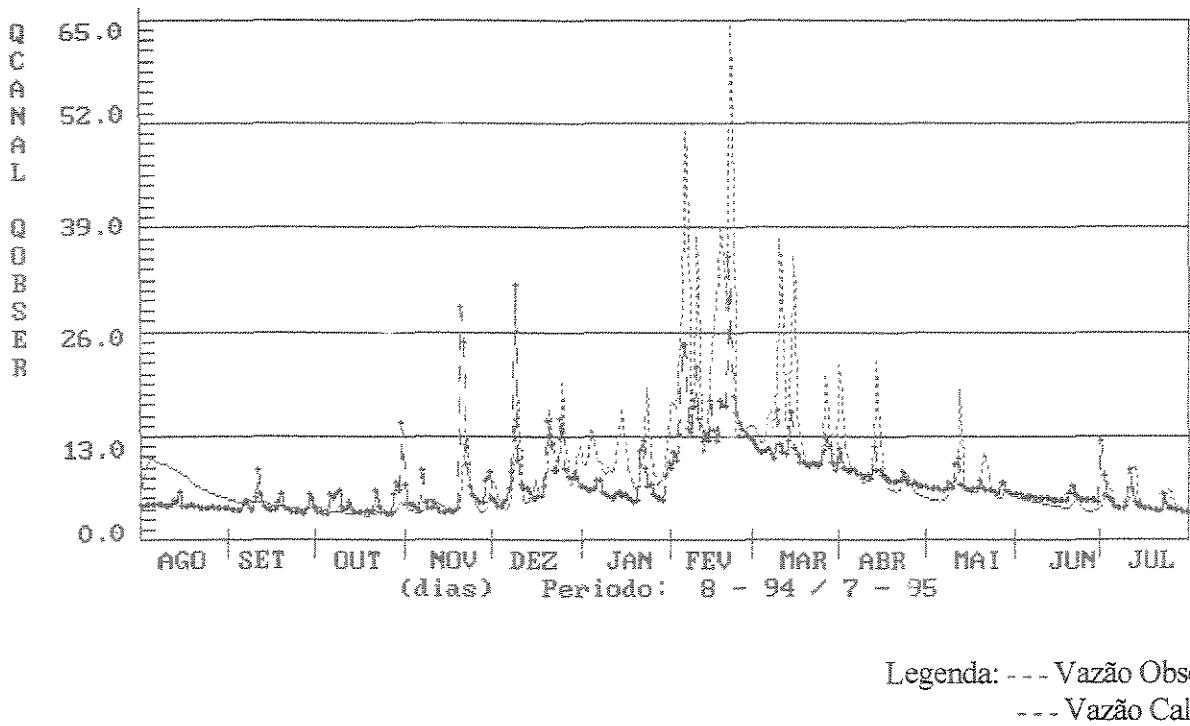
Legenda: - - - Vazão Observada  
- - - Vazão Calculada

FIGURA 6.13: Ponte Alta – Validação para o ano de 1990.



Legenda: - - - Vazão Observada  
- - - Vazão Calculada

FIGURA 6.14: Ponte Alta – Validação para o ano de 1992.

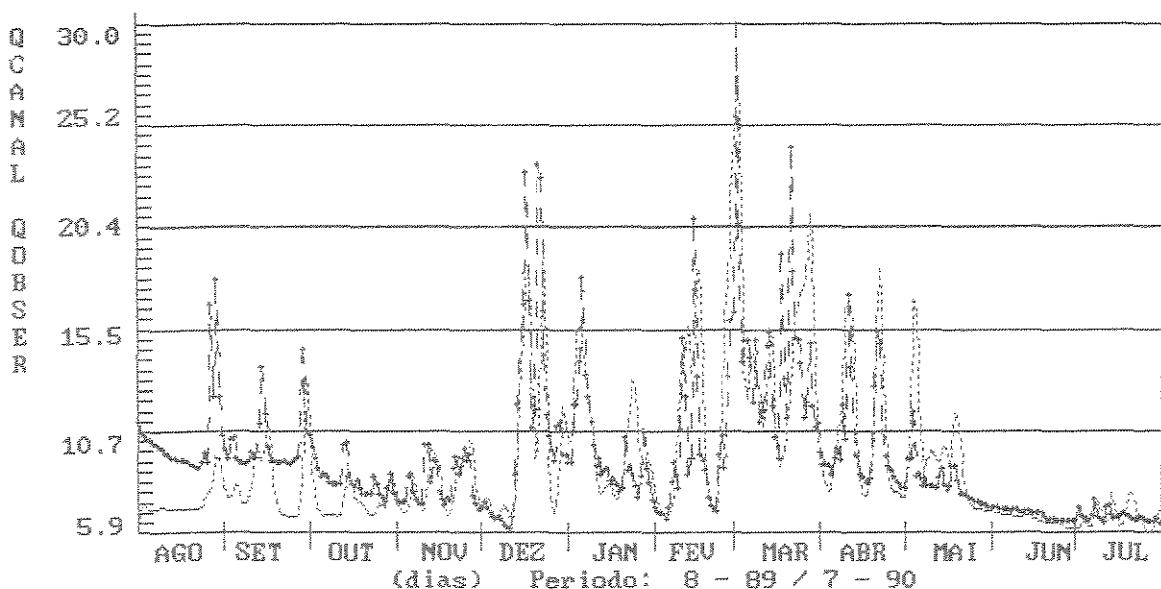


**FIGURA 6.15:** Ponte Alta – Validação para o ano de 1994.

Verifica-se através destas figuras que a calibragem e a validação foram satisfatórias, pois observa-se similaridade entre a vazão observada e a vazão gerada pelo modelo.

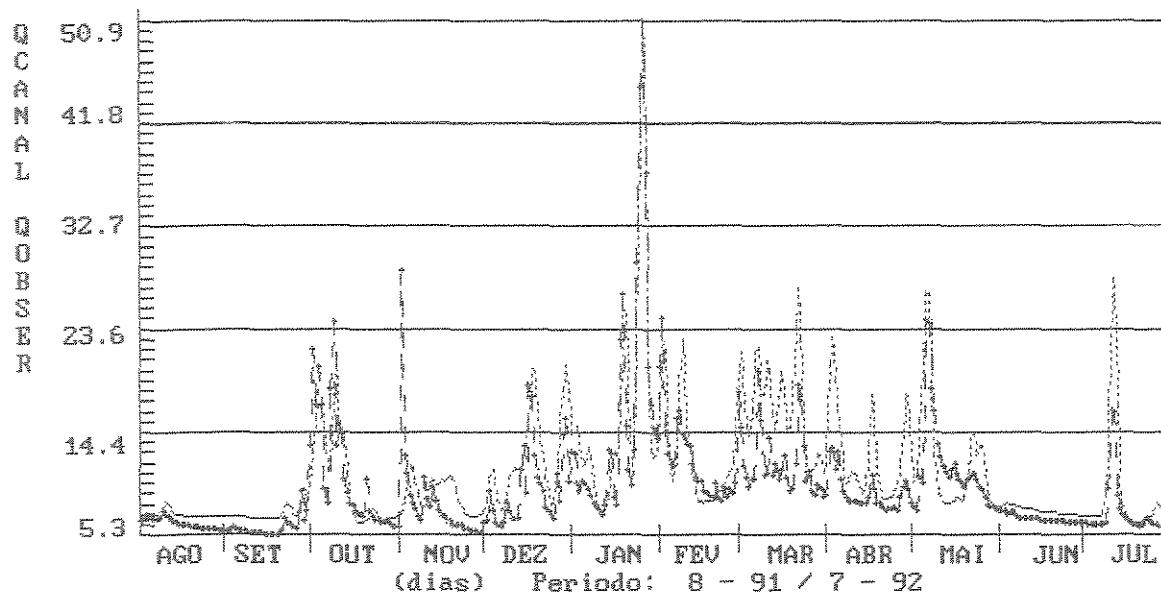
#### 6.3.2.2 SUB-BACIA ESTRADA DE CUNHA

As figuras 6.16 a 6.21 ilustram os ajustes obtidos para Estrada de Cunha.



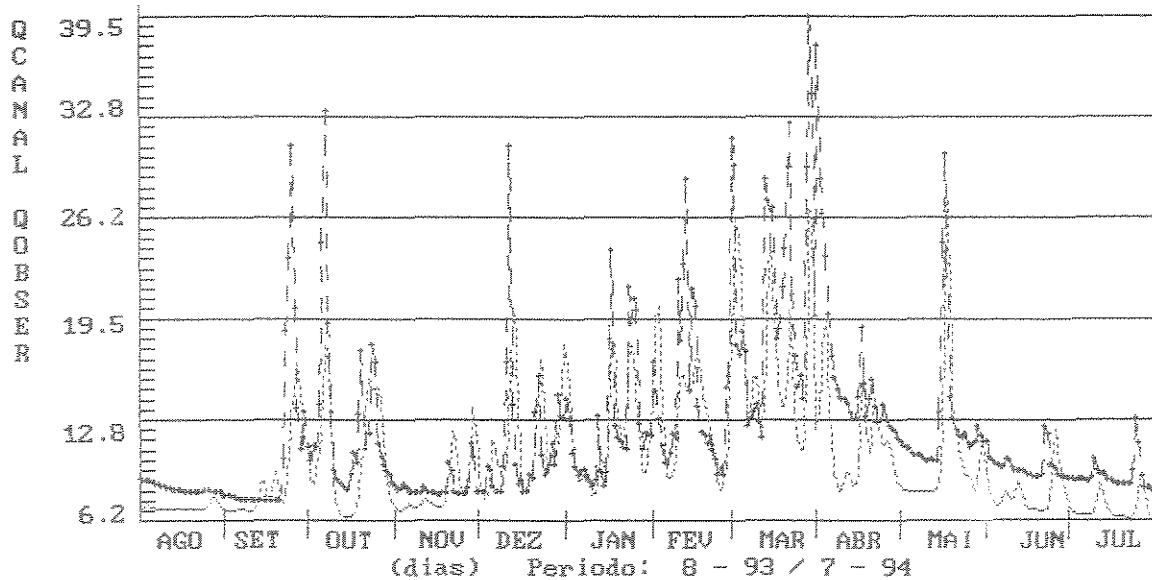
Legenda: --- Vazão Observada  
- - - Vazão Calculada

FIGURA 6.16: Estrada de Cunha – Calibragem para o ano de 1989



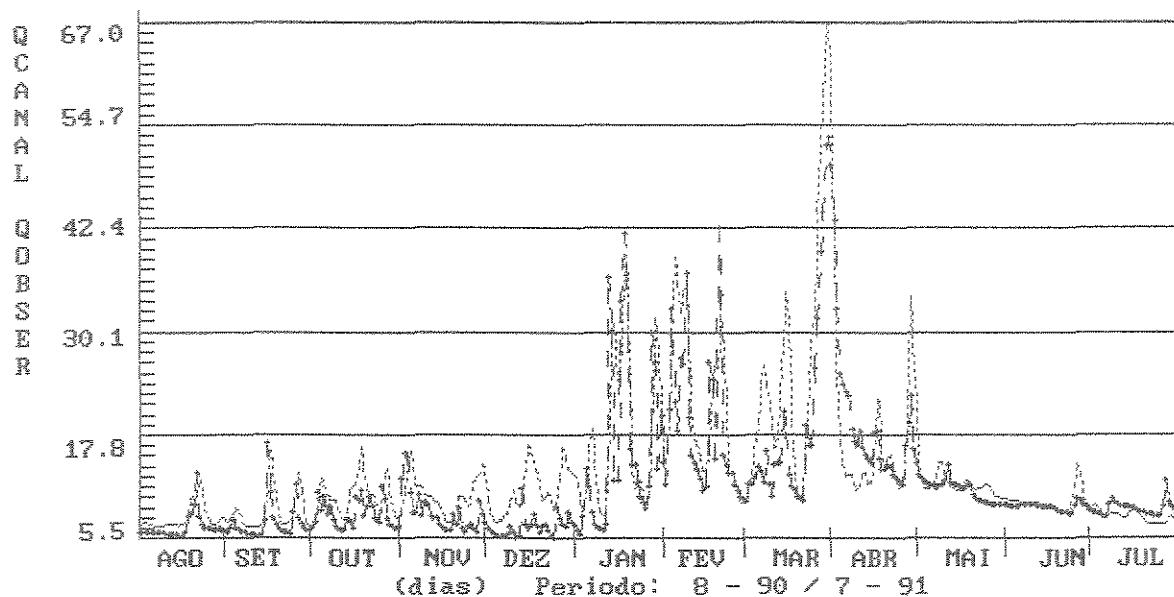
Legenda: --- Vazão Observada  
- - - Vazão Calculada

FIGURA 6.17: Estrada de Cunha – Calibragem para o ano de 1991



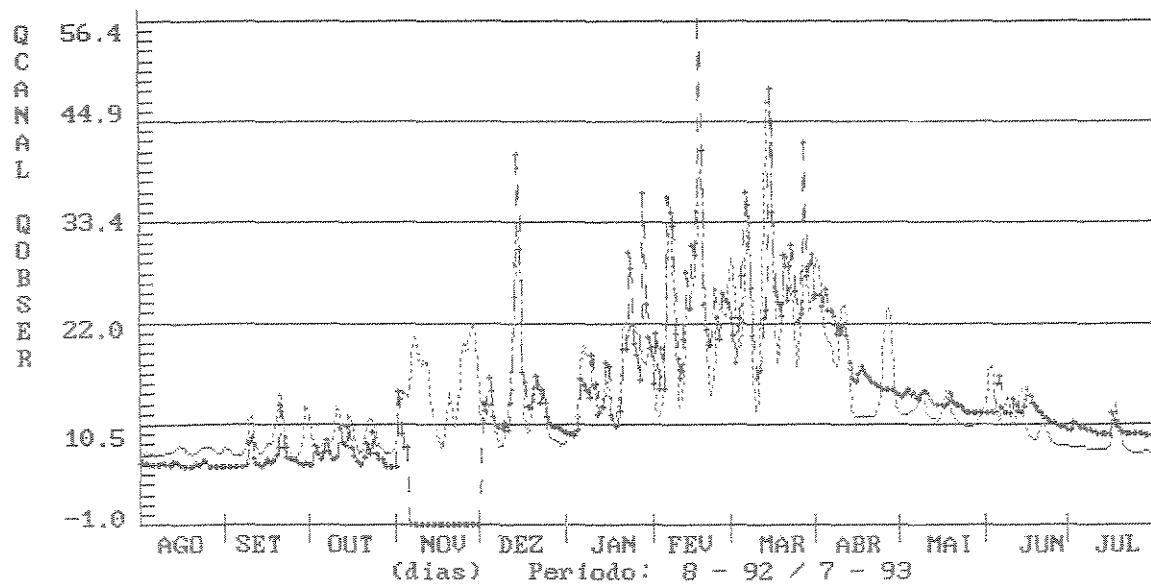
Legenda: --- Vazão Observada  
---- Vazão Calculada

FIGURA 6.18: Estrada de Cunha – Calibragem para o ano de 1993



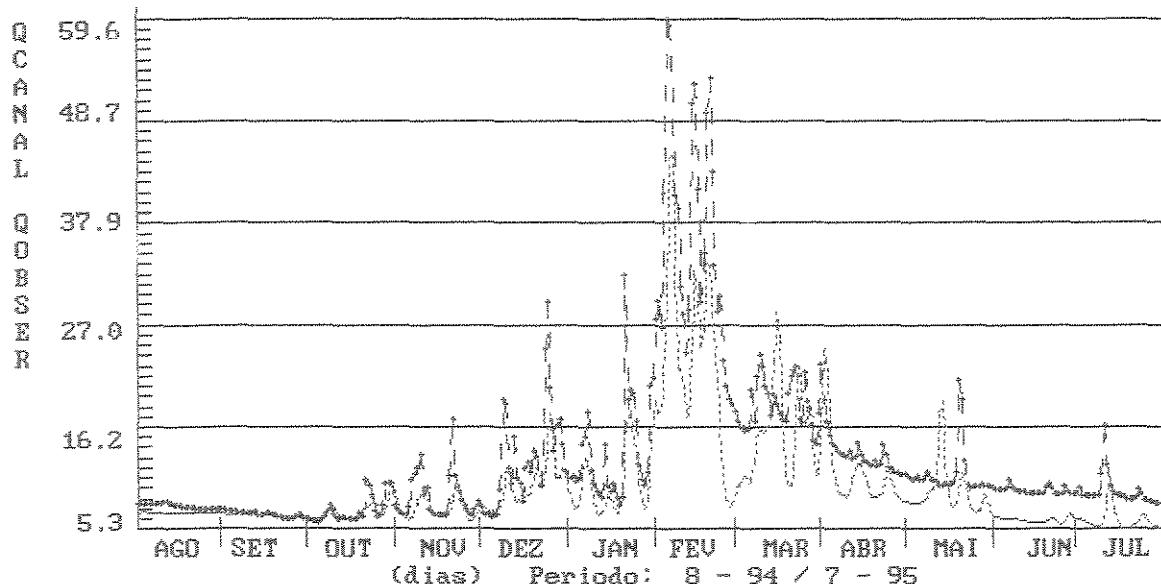
Legenda: --- Vazão Observada  
---- Vazão Calculada

FIGURA 6.19: Estrada de Cunha – Validação para o ano de 1990



Legenda: - - - Vazão Observada  
- - - Vazão Calculada

FIGURA 6.20: Estrada de Cunha – Validação para o ano de 1992



Legenda: - - - Vazão Observada  
- - - Vazão Calculada

FIGURA 6.21: Estrada de Cunha – Validação para o ano de 1994

Verifica-se através destas figuras, que a calibragem e a validação também foram satisfatórias para a sub-bacia de Estrada de Cunha, pois observa-se similaridade entre a vazão observada e a vazão gerada pelo modelo.

### 6.3.3 APLICAÇÃO DO MODELO

Uma vez calibrado o modelo, ele foi aplicado para o período 1958-1994, período este no qual contou-se como melhor amostragem de dados pluviométricos. Nos quadros 6.2, 6.3 e 6.4 são apresentados os valores resultantes do modelo para as duas sub-bacias utilizadas, e um comparativo da média para dois períodos: período de 1958/1975 e período de 1976/1994, respectivamente. São apresentados em seguida os gráficos de correlação entre vazões observadas e calculadas (figuras 6.22 e 6.23), para Ponte Alta e Estrada de Cunha respectivamente, que tem por objetivo analisar o grau de relação entre elas e suas variações ao longo do tempo.

**QUADRO 6.2:** Resultado Modelo Tupi – Ponte Alta

Ano	Vazão Média Observada no Posto	Vazão Média Calculada pelo Modelo	Vazão Média Calculada Vazão Média Observada
1958	12,68	9,16	0.722
1959	8,26	7,45	0.902
1960	10,76	10,03	0.932
1961	8,7	7,91	0.909
1962	9,22	7,11	0.771
1963	5,64	6,08	1.078
1964	9,01	8,35	0.927
1965	10,23	8,6	0.841
1966	13,8	11,39	0.825
1967	8,04	6,83	0.850
1968	7,42	7,72	1.040
1969	8,36	8,79	1.051
1970	7,28	8,87	1.218
1971	8,4	9,58	1.140
1972	9,16	8,62	0.941
1973	7,35	8,32	1.132
1974	6,37	7,32	1.149
1975	9,31	10,55	1.133
1976	7,84	8,44	1.077
1977	6,56	6,43	0.980
1978	5,93	6,19	1.044
1979	8,85	8,7	0.983
1980	8,4	8,23	0.980
1981	7,85	8,01	1.020
1982	9,31	10,95	1.176
1983	7,06	8,04	1.139
1984	12,84	10,51	0.819

**QUADRO 6.2:** Resultado Modelo Tupi – Ponte Alta

Ano	Vazão Média Observada	Vazão Média Calculada	<u>Vazão Média Calculada</u>
	no Posto	pelo Modelo	Vazão Média Observada
1985	7,42	7,96	1.073
1986	10,33	10,66	1.032
1987	8,89	8,21	0.924
1988	10,2	8,47	0.830
1989	6,96	5,59	0.803
1990	8,65	7,74	0.895
1991	6,46	7,04	1.090
1992	8,39	8,54	1.018
1993	6,95	7,21	1.037
1994	7,31	8,87	1.213

**QUADRO 6.3:** Resultado Modelo Tupi – Estrada de Cunha

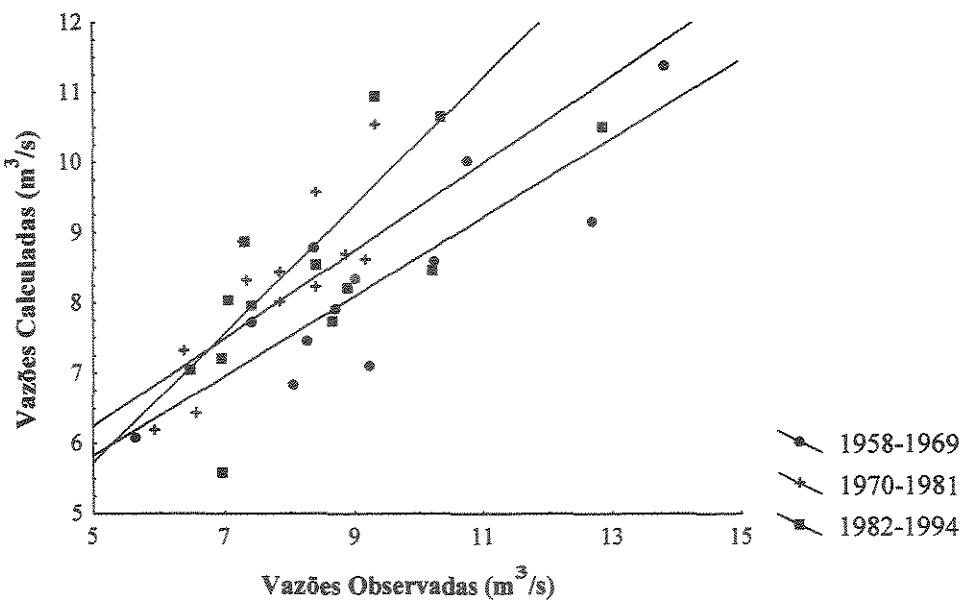
Ano	Vazão Média Observada no Posto	Vazão Média Calculada pelo Modelo	<u>Vazão Média Calculada</u> <u>Vazão Média Observada</u>
1958	13.22	12.95	0.980
1959	12.06	10.84	0.899
1960	15.26	12.66	0.830
1961	13.41	11.82	0.881
1962	13.25	11.83	0.893
1963	10.65	10.58	0.993
1964	12.41	12.28	0.990
1965	15.51	13.13	0.847
1966	25.76	17.54	0.681
1967	13.30	10.85	0.816
1968	9.38	9.51	1.014
1969	9.79	11.65	1.190
1970	10.17	12.01	1.181
1971	11.74	12.37	1.054
1972	12.17	12.29	1.010
1973	12.97	11.70	0.902
1974	11.85	9.99	0.843
1975	14.26	12.73	0.893
1976	16.63	13.09	0.787
1977	11.63	10.69	0.919
1978	10.24	9.54	0.932
1979	13.25	12.39	0.935
1980	10.32	10.63	1.030
1981	13.15	12.06	0.917
1982	18.43	15.28	0.829
1983	18.49	12.77	0.691
1984	15.34	12.78	0.833

**QUADRO 6.3:** Resultado Modelo Tupi – Estrada de Cunha

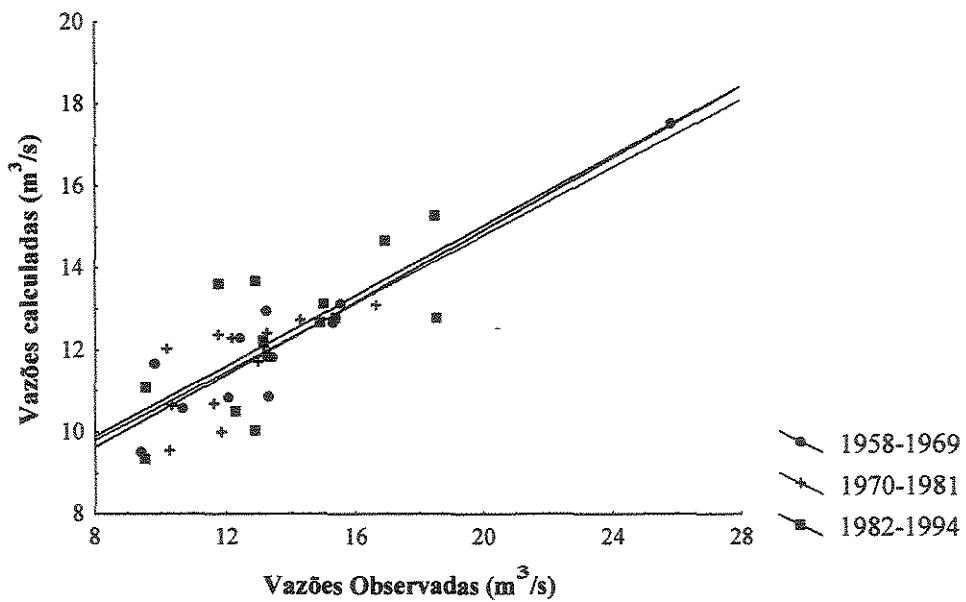
Ano	Vazão Média Observada no Posto	Vazão Média Calculada pelo Modelo	<u>Vazão Média Calculada</u> <u>Vazão Média Observada</u>
1985	13.12	12.22	0.931
1986	16.88	14.67	0.869
1987	14.87	12.66	0.851
1988	14.98	13.12	0.876
1989	9.50	9.33	0.982
1990	11.76	13.62	1.158
1991	9.54	11.08	1.161
1992	12.90	13.68	1.060
1993	12.28	10.49	0.854
1994	12.89	10.02	0.777

**QUADRO 6.4:** Médias da relação entre vazão média calculada e vazão média observada

Bacias	Período	<u>Vazão Média Calculada</u> <u>Vazão Média Observada</u>
Estrada de Cunha	1958/1975	0.939
	1976/1994	0.915
Ponte Alta	1958/1975	0.976
	1976/1994	1.007



**FIGURA 6.22:** Gráfico de correlação entre vazões observadas e vazões calculadas para a sub-bacia Ponte Alta.



**FIGURA 6.23:** Gráfico de correlação entre vazões observadas e vazões calculadas para a sub-bacia Estrada de Cunha.

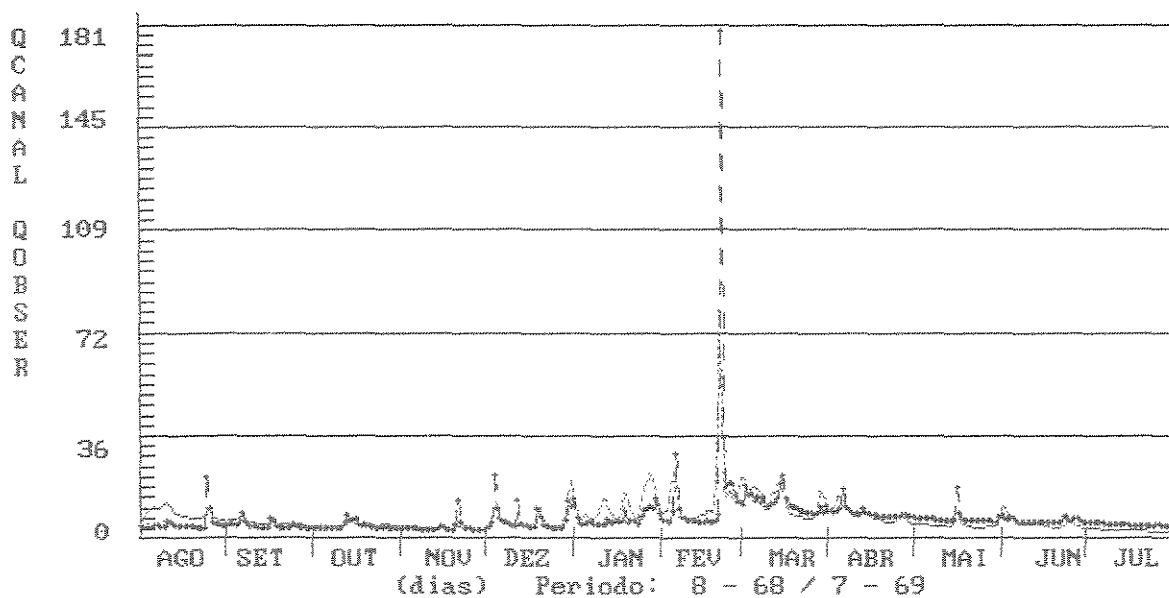
Através do quadro 6.4 pôde-se verificar que para o Posto Estrada de Cunha, a média entre vazão calculada e vazão observada, é ligeiramente menor para o período mais recente em relação ao período anterior, mas não em função da chuva, pois pelas análises realizadas nas séries

pluviométricas, não foram verificadas alterações ao longo dos anos. Isto significa que as vazões para o período mais recente, pela análise do modelo não aumentaram em função das alterações provocadas na sub-bacia Estrada de Cunha, apesar desta sub-bacia ter sofrido maiores alterações em termos de cobertura vegetal ao longo dos anos. Na sub-bacia de Ponte Alta ocorre o contrário, pois a média entre vazão calculada e vazão observada, mostra-se, para o período mais recente, ligeiramente maior em relação ao período anterior, fato este, que também não se deveu ao regime pluviométrico, conforme verificado pelas análises das séries observadas.

Este resultado concluído acima pode ser confirmado através das análises das figuras 6.22 e 6.23, pois para Ponte Alta (figura 6.22) observa-se uma certa tendência de vazões mais altas para o período mais recente, ao contrário de Estrada de Cunha (figura 6.23) onde as retas de ajuste para os três períodos encontram-se praticamente iguais, mostrando que não há tendência para as vazões.

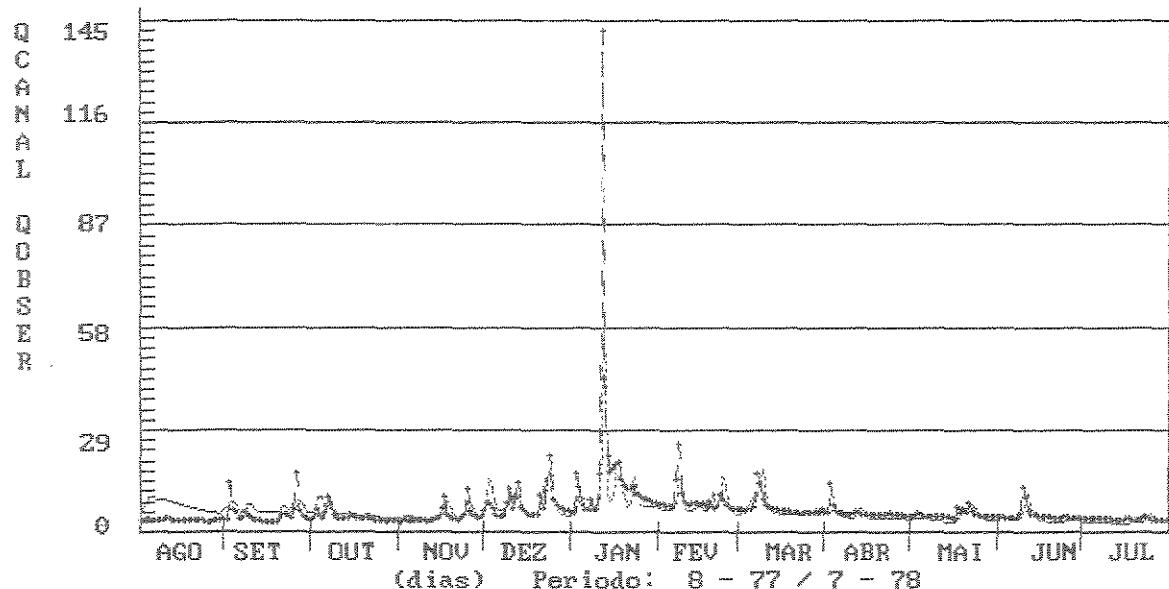
De qualquer modo são diferenças muito pequenas que podem perfeitamente ser devidos à imprecisões na calibragem do modelo.

As figuras 6.24 a 6.27 ilustram resultados do modelo para todo o período processado na sub-bacia Ponte Alta.



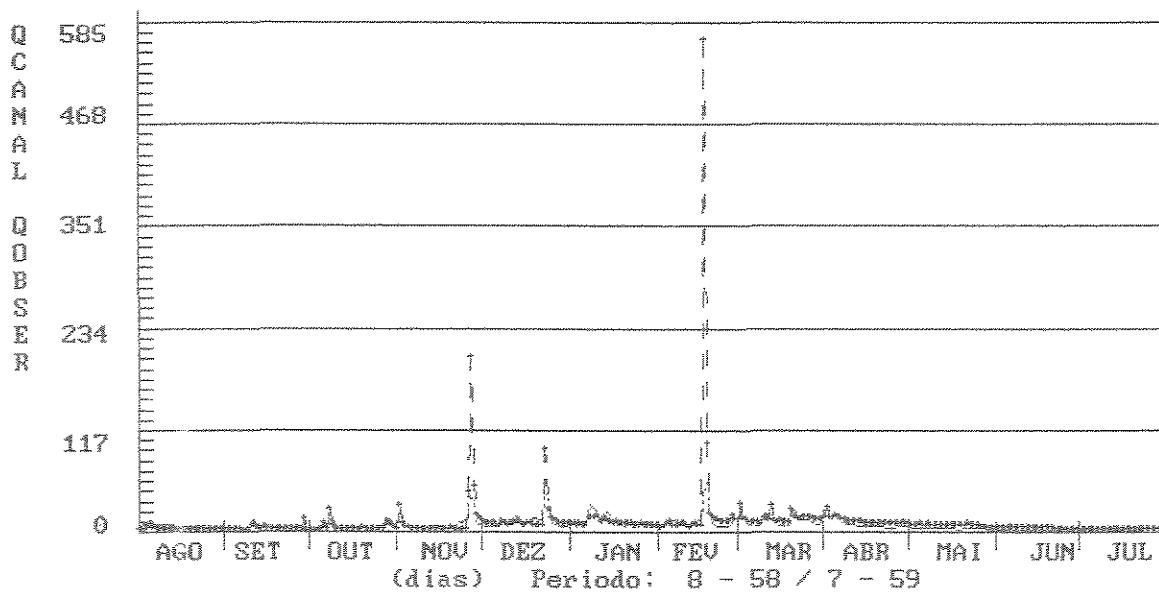
Legenda: --- Vazão Observada  
- - - Vazão Calculada

FIGURA 6.24: Bom ajuste para o ano de 1968



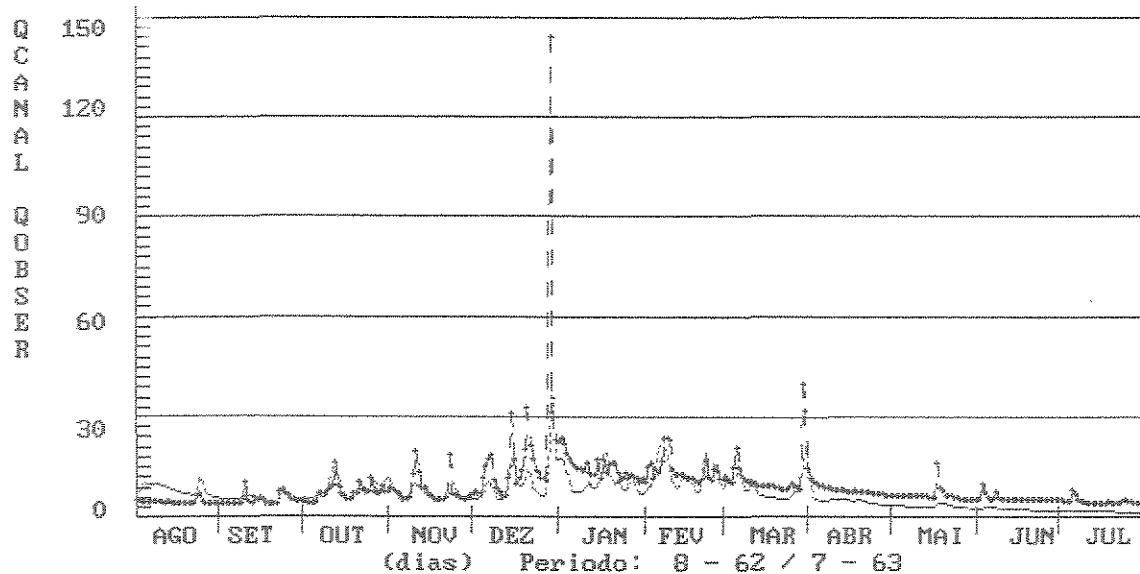
Legenda: --- Vazão Observada  
- - - Vazão Calculada

FIGURA 6.25: Bom ajuste para o ano de 1977



Legenda: --- Vazão Observada  
- - - Vazão Calculada

FIGURA 6.26: Ajuste não tão satisfatório para o ano de 1958

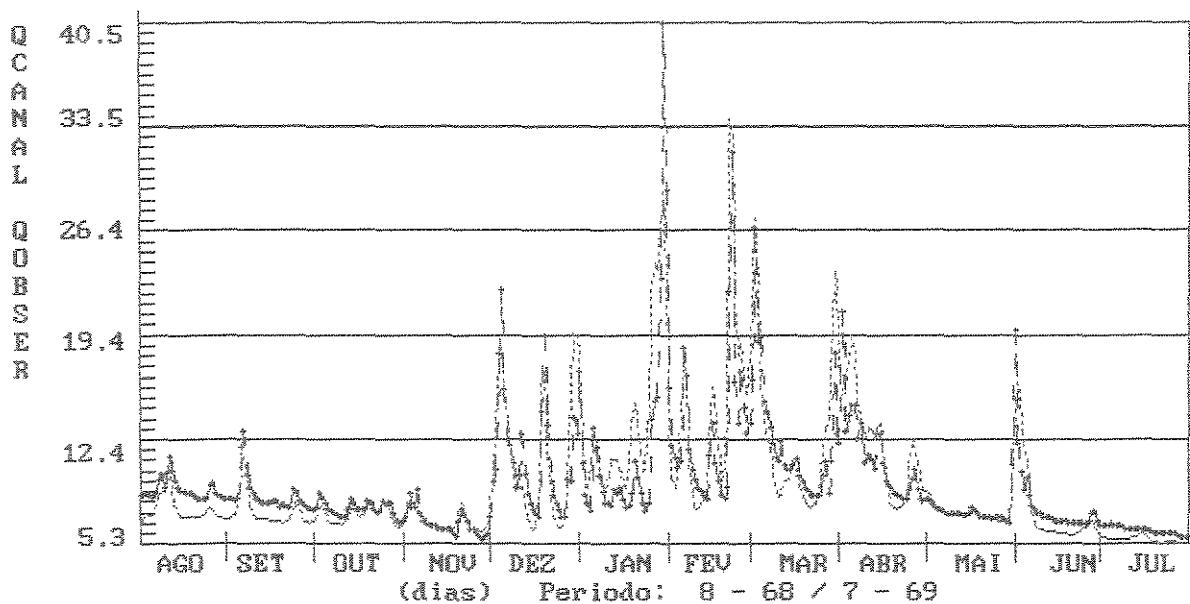


Legenda: --- Vazão Observada  
- - - Vazão Calculada

FIGURA 6.27: Ajuste não tão satisfatório para o ano de 1962

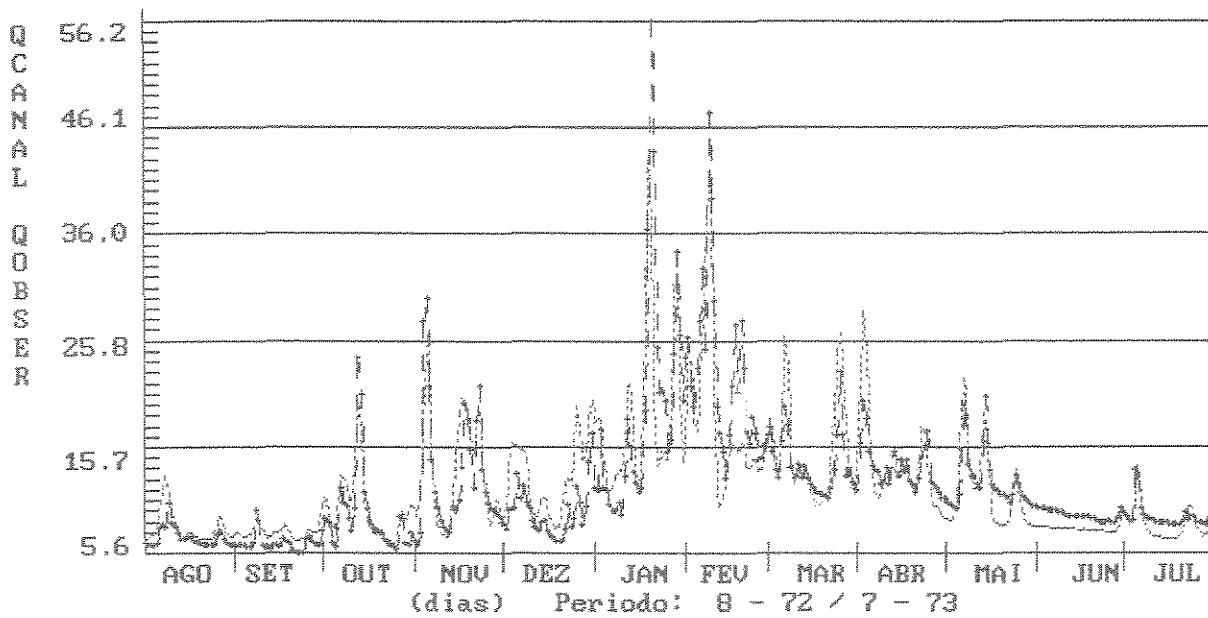
Nas figuras 6.24 e 6.25 observa-se similaridade entre as vazões calculada e observada. Isto mostra que para estes anos a calibração do modelo ajustou-se bem. Já nas figuras 6.26 e 6.27, observa-se o contrário. Este fato deveria decorrer do período de dados, pois, para ajuste mais similar, o período é mais recente, que reflete condições, de um modo geral, semelhantes às condições consideradas para o período de calibração, ao contrário dos gráficos de maior diferença, que são os do período mais antigo, onde as condições do solo eram diferentes as condições consideradas pelo modelo calibrado.

As figuras 6.28 a 6.31 ilustram resultados do modelo para todo o período processado na sub-bacia Estrada de Cunha.



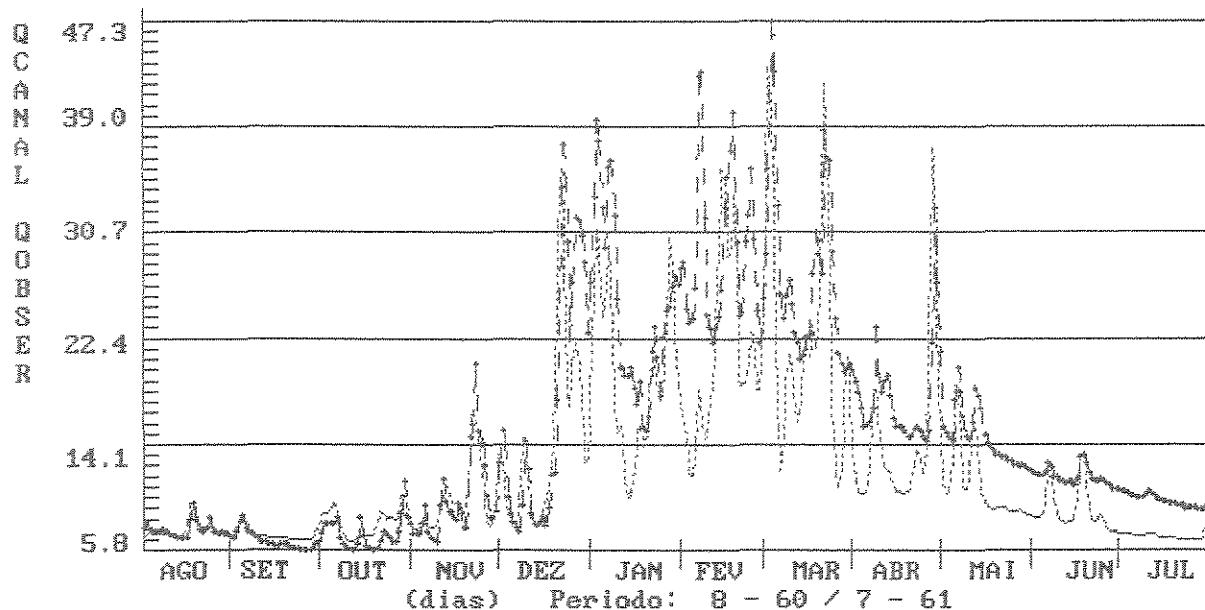
Legenda: ... Vazão Observada  
- - - Vazão Calculada

**FIGURA 6.28:** Bom ajuste para o ano de 1968



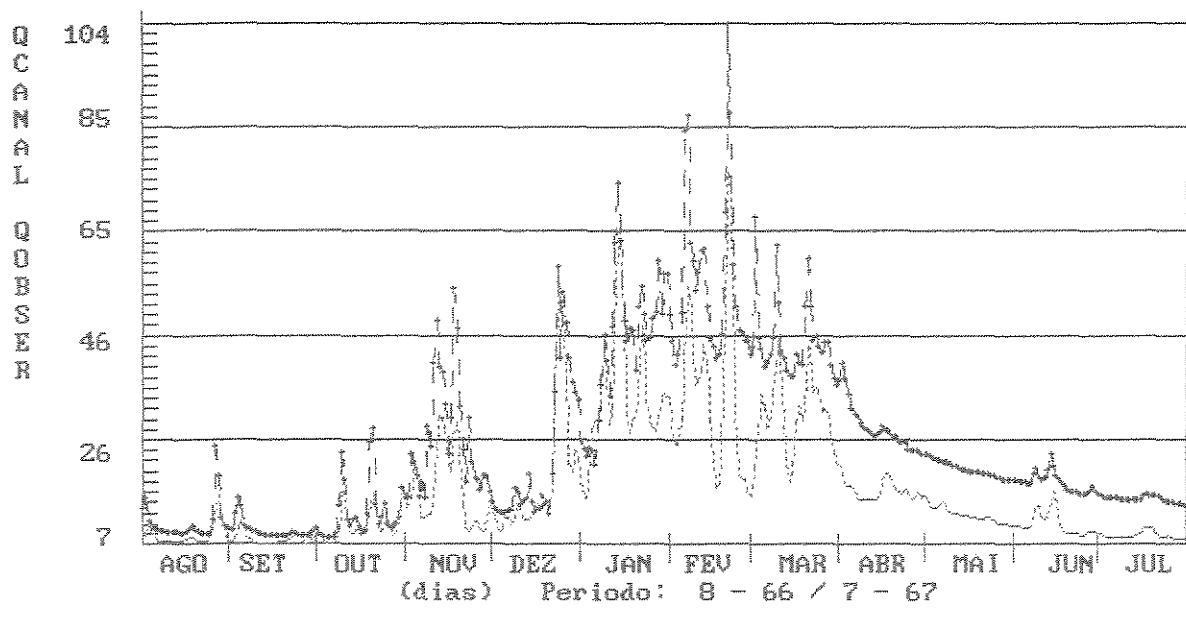
Legenda: --- Vazão Observada  
---- Vazão Calculada

FIGURA 6.29: Bom ajuste para o ano de 1972



Legenda: --- Vazão Observada  
---- Vazão Calculada

FIGURA 6.30: Ajuste não tão satisfatório para o ano de 1960



Legenda: --- Vazão Observada  
- - - Vazão Calculada

**FIGURA 6.31:** Ajuste não tão satisfatório para o ano de 1966

De maneira semelhante ao posto Ponte Alta, através das figuras 6.28 6.29, 6.30 e 6.31 observa-se maior similaridade entre os hidrogramas relativos aos períodos mais recentes e maiores diferenças para períodos mais antigos respectivamente, sendo que para as figuras 6.28 e 6.29 o ajuste é melhor do que para os hidrogramas representados pelas figuras 6.30 e 6.31. Este resultado, pode ser devido às condições de solo no período mais antigo serem diferentes das condições atuais adotadas para o período de calibração.

Para uma mais precisa análise comparativa entre as séries observadas e as séries geradas pelo modelo foram realizadas análises estatísticas com os resultados obtidos através do modelo. Para avaliar os efeitos de uso e ocupação do solo, tomou-se como referência a variável representada pela relação, a cada ano, entre as vazões médias anuais geradas e observadas. Na medida em que essa relação oscilar em torno de 1, de forma homogênea ao longo do período, significa a manutenção das condições de uso do solo, ou melhor, que suas alterações não refletem significativamente sobre os dados fluviométricos. Ressalta-se aqui que as séries pluviométricas se mostraram estáveis nesse período de modo que as diferenças irão recair sobre o uso do solo.

Desta forma, analisando a relação entre as vazões geradas e observadas, verificou-se a existência ou não de tendência da vazão calculada em relação a observada, pois como o modelo foi calibrado e validado para as condições atuais de vegetação, com a análise estatística pôde-se verificar a consistência da calibração e a sensibilidade do modelo diante das condições reais, visto que, admitiu-se com a calibração, que nos anos anteriores ao período da calibragem a bacia possuía as mesmas condições de hoje. Os resultados desta análise encontram-se nos quadro 6.5, 6.6, 6.7 e 6.8 .

**Quadro 6.5:** Análise Estatística de Tendência (*Rank Correlation*) para a relação Série Gerada / Observada

Posto	Período	Valor t calculado	Nível de Significância (%)			Tendência
			98	95	90	
Ponte Alta	1958 - 1994	2.03	-2.38 – 2.38	-1.99 – 1.99	-1.67 – 1.67	Existe
Estrada de Cunha	1958 - 1994	0.24	-2.38 – 2.38	-1.99 – 1.99	-1.67 – 1.67	Não Existe

**Quadro 6.6:** Análise Estatística de Tendência (Regressão Linear) para a relação Série Gerada / Observada

Posto	Período	Valor t calculado	Nível de Significância (%)			Tendência
			98	95	90	
Ponte Alta	1958 - 1994	1.73	-2.38 – 2.38	-1.99 – 1.99	-1.67 – 1.67	Existe
	1958 - 1994					
Estrada de Cunha	1958 - 1994	-0.06	-2.38 – 2.38	-1.99 – 1.99	-1.67 – 1.67	Não Existe
	1958 - 1994					

**Quadro 6.7:** Análise Estatística de Estabilidade (Variancia) para a relação Série Gerada / Observada

Posto	Período	Valor f calculado	Nível de Significância (%)			Resultado
			98	95	90	
Ponte	1958 - 1994	1.78				Estável/ Instável
Alta	1958 - 1994		-2.22 – 2.22	-1.96 – 1.96	-1.75 – 1.75	
Estrada de	1958 - 1994	3.65				Instável
Cunha	1958 - 1994		-2.22 – 2.22	-1.96 – 1.96	-1.75 – 1.75	

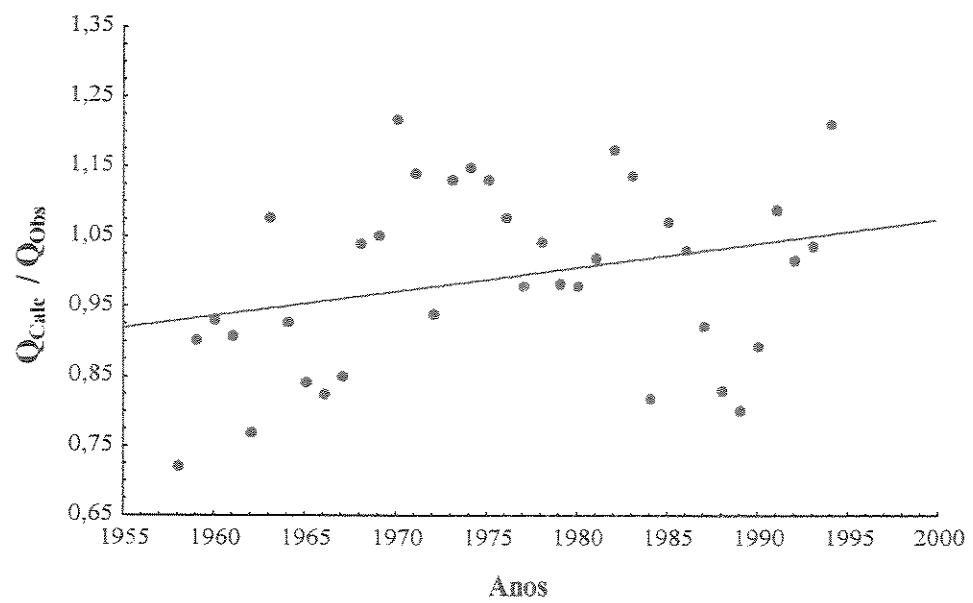
**Quadro 6.8:** Análise Estatística de Estabilidade (Média) para a relação Série Gerada / Observada

Posto	Periodo	Valor t calculado	Nível de Significância (%)			Resultado
			98	95	90	
Ponte	1958 - 1994	-0.47				Estável
Alta	1958 - 1994		-2.38 – 2.38	-1.99 – 1.99	-1.67 – 1.67	
Estrada de	1958 - 1994	-2.15				Estável/ Instável
Cunha	1958 - 1994		-2.38 – 2.38	-1.99 – 1.99	-1.67 – 1.67	

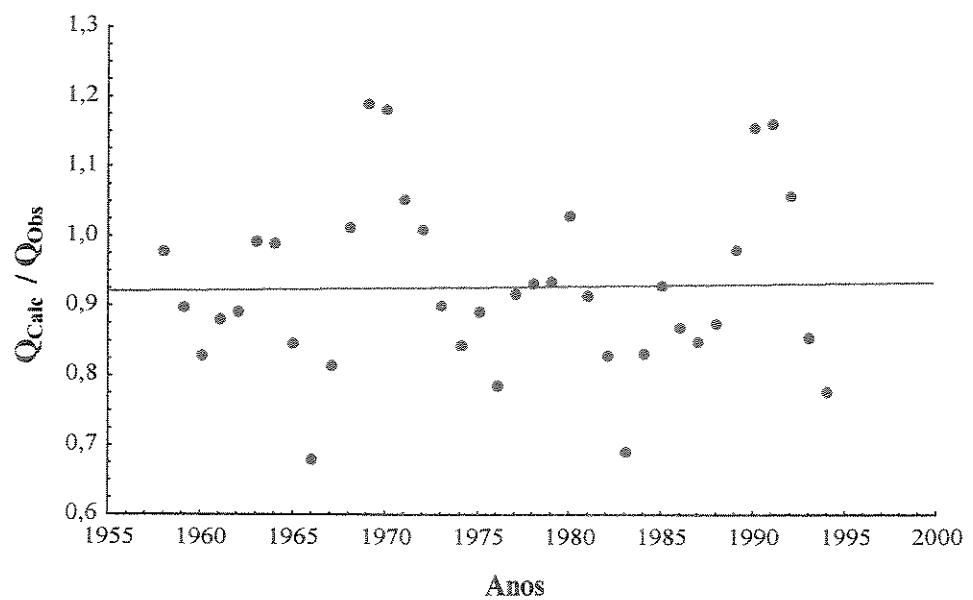
Os quadros acima mostram que a razão entre a série gerada e a série observada para o Posto Ponte Alta, apresenta pequeno nível de tendência e uma pequena instabilidade em termos de variância, não sendo esta significativa.

Analizando o Posto Estrada de Cunha, verifica-se que este não apresenta tendência mas apresenta uma instabilidade significativa na variância e menor na média.

As figuras 6.32 e 6.33 apresentam os gráficos da relação vazão calculada, vazão observada em função do período, para os postos de Ponte Alta e Estrada de Cunha respectivamente. Na figura 6.32 pode-se observar a pequena tendência resultante dos testes estatísticos para o posto Ponte Alta, já na figura 6.33 (posto Estrada de Cunha), não se verifica esta tendência, pois os pontos estão praticamente uniformes ao redor da reta de ajuste.



**FIGURA 6.32:** Gráfico da relação vazão calculada, vazão observada versus período de ocorrência para a sub-bacia Ponte Alta.



**FIGURA 6.33:** Gráfico da relação entre vazão calculada / vazão observada e período de ocorrência para a sub-bacia Estrada de Cunha.

**QUADRO 6.9:** Quadro resumo comparativo das análises realizadas

ANÁLISES REALIZADAS	RESULTADOS OBTIDOS
<b>1. Séries Pluviométricas</b>	De modo geral os postos não apresentam nem tendência nem instabilidade da média ou variância no longo período de dados
<b>2. Séries Fluviométricas</b>	
• <b>Fluviogramas de longo Período</b>	
1. Ponte Alta	Em torno da média
2. Estrada de Cunha	Pequeno aumento ao longo de 1930-1995 e estável entre 1955 e 1994.
• <b>Correlação de longo período</b>	No período 1976-1995, Estrada de Cunha mais alta ou Ponte Alta mais baixa.
• <b>Análise de Tendência</b>	
1. Longo período	Ponte Alta: Não Existe Estrada de Cunha: Existe
2. Período recente (1954-1995)	Ponte Alta: Não Existe Estrada de Cunha: Não Existe
• <b>Estabilidade da Variância</b>	
1. Longo período	Ponte Alta: Não Existe Estrada de Cunha: Existe
2. Período recente (1954-1995)	Ponte Alta: Não Existe Estrada de Cunha: Não Existe
• <b>Estabilidade da Média</b>	
1. Longo período	Ponte Alta: Não Existe Estrada de Cunha: Não Existe
2. Período recente (1954-1995)	Ponte Alta: Não Existe Estrada de Cunha: Não Existe
<b>3. Análise com o modelo chuva-deflúvio</b>	
• <b>Relação vazão calculada / vazão observada</b>	
1. Tendência	Ponte Alta: Pequena Estrada de Cunha: Não Existe
2. Estabilidade a Variância	Ponte Alta: Pequena Estrada de Cunha: Existe
3. Estabilidade da Média	Ponte Alta: Não Existe Estrada de Cunha: Existe

Pelo exame do quadro 6.9 verifica-se que:

- As séries pluviométricas não apresentam instabilidades significativas.
- No longo período 1934-1994, a série de Ponte Alta se mostrou estável e a série fluviométrica de Estrada de Cunha apresenta alguma tendência e instabilidade na variância.
- No período recente, 1958-1994, ambas as séries fluviométricas observadas não apresentam tendência nem instabilidade.
- No período recente, 1958-1994, a relação série gerada / série observada mostra alguma instabilidade em Estrada de Cunha.

Assim, de um modo geral, embora as análises realizadas por diversos instrumentos apresentem algumas divergências, o que pode ser devido aos dados ou imprecisões na calibragem do modelo, podem dizer que não há evidências seguras de maiores alterações no regime dos rios estudados principalmente no período posterior a 1958, período para o qual os dados permitem a aplicação do modelo chuva-deflúvio.

## 7 CONCLUSÕES

Podemos concluir que as análises estatísticas e gráficas realizadas nas séries pluviométricas observadas mostraram que estas não sofreram alterações ao longo dos anos.

Com relação às séries fluviométricos observadas, as análises estatísticas para a série completa mostraram que o Posto Estrada de Cunha apresentou-se instável e com tendência e, o posto Ponte Alta apresentou-se estável. Mas através da análise para o período mais recente estas alterações estatísticas não se confirmaram, visto que, o Posto Estrada de Cunha apresentou-se estável concluindo-se assim que, possivelmente, as falhas das séries nos períodos mais antigos possam ter ocasionado as alterações estatísticas verificadas nas séries completas.

Nos resultados referentes à aplicação do modelo chuva-deflúvio, verificou-se resultados não satisfatórios quando da comparação da vazão calculada com a vazão observada, pois pela análise das séries observadas a sub-bacia Ponte Alta apresentou-se estável tanto para o período completo da série quanto para o período mais recente e, no resultado do modelo esta sub-bacia mostrou-se alterada.

Este resultado vem demonstrar que, assim como a bibliografia não é coesa sobre alterações de vazões em função do uso e ocupação do solo, para uma análise do comportamento hidrológico de uma bacia, convém utilizar diferentes instrumentos de análise para uma melhor comparação e conclusão dos resultados.

Com relação à escolha de bacias (Paraibuna e Paraitinga) para análise, no nosso caso, houve dificuldades para encontrar bacias adequadas para o estudo proposto. Isto se deveu ao fato

de que muitas bacias apesar de terem sofrido grandes alterações no uso e ocupação do solo a exemplo de barragens e desvios de águas, possuíam limitações nas séries hidrológicas, tanto para o período de dados, quanto para distribuição dos postos ao longo da bacia.

Outro fato observado neste estudo foi que, além da qualidade da modelagem ser muito importante, a qualidade dos dados também é essencial, pois no decorrer das análises verificou-se que as séries eram longas como desejado, mas com muitos anos falhos, principalmente nas séries fluviométricas. Em relação às séries pluviométricas, estas possuíam muita descontinuidade, com baixa densidade em períodos mais antigos e mesmo paralisação do posto em períodos mais recentes.

A aplicação do modelo chuva-deflúvio mostrou que é possível conseguir ajustes muito bons para alguns anos, mas para outros, nem tão bons assim. Este fato, pode ser devido a problemas com os próprios dados, tanto em termos de qualidade, principalmente nos dados fluviométricos, como de cobertura na área no caso de dados pluviométricos.

Por todos estes motivos, principalmente pela qualidade do dado, os resultados não foram concludentes, sugerindo aqui levantamentos mais detalhados de uso e ocupação das bacias para um melhor resultado da modelagem.

Desta forma, verificou-se que, os resultados obtidos são indícios de que realmente podem ter havido alterações na disponibilidade dos recursos hídricos das sub-bacias estudadas, recomendando-se a continuação das pesquisas, inicialmente pela revisão cuidadosa dos dados hidrológicos primários, cotas limimétricas, medições de descarga e definição de curvas chave seguidos pela aplicação de modelos hidrológicos e, finalmente, levantamentos mais detalhados do uso e ocupação das bacias. Um aspecto importante a se recomendar é a continuidade da operação da rede pluviométrica e fluviométrica, com um planejamento que envolva, entre os objetivos da rede, fornecer dados para pesquisas hidrológicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ANUÁRIO FLUVIOMÉTRICO N° 4, 1955. Estudo preliminar de regularização dos Rios Paraibuna e Paraitinga. Divisão de águas – Ministério da Agricultura.
- BORGONOVI, M. e CHIARINI, J. V., 1965. Cobertura Vegetal do Estado de São Paulo. I - Levantamento por Fotointerpretação das áreas cobertas com cerrado, cerradão e campo. Bragantia, São Paulo v.14. p.159-179.
- BORGONOVI, M. e CHIARINI, J. V., 1967. Cobertura Vegetal do Estado de São Paulo. II - Levantamento por Fotointerpretação das áreas cobertas com Floresta Natural e Reflorestamento. Bragantia, São Paulo v.26 (6). p. 93-102.
- BOSCH, J. M. e HEWLETT, J.D., 1982. A Review of Catchment Experiments to determine the Effect of Vegetation Changes on Water Yield and Evapotranspiration. Journal of Hydrology v. 55. p. 3-23.
- CHIARINI, J. V. e COELHO, A. G. DE S, 1969. Cobertura Vegetal e Natural e Áreas Reflorestadas do Estado de São Paulo. Secretaria do Estado de São Paulo - Instituto Agronômico - Seção de Fotointerpretação - Divisão de Solos. Boletim nº 193. 31p. Campinas, SP.
- CORLETO, F., 1998. A Microbacia do Passa Vinte - Palhoça/SC e o Problema das Inundações. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação de Mestrado. Florianópolis SC. 128p.

FONSECA, K. T. e PEDROSA, R.P.F. Sinopse do Desmatamento da Mata Atlântica no Rio de Janeiro. <URL: <http://www.microlink.com.br/~kenny>>. 1997. Visitado em 31 de Outubro de 1999 às 00:41:49h.

FRANK, B., 1995. Uma abordagem para o gerenciamento ambiental da bacia hidrográfica do Rio Itajaí, com ênfase no problema das enchentes. Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Tese de Doutorado. Florianópolis. 325p.

FUJIEDA, M., et al., 1997. Hydrological Processes at two Subtropical Forest Catchment: The Serra do Mar, São Paulo, Brazil. Journal of Hydrology. v. 196. p. 26-46.

GALETI, P. A., 1973. Conservação do Solo - Reflorestamento e Clima. Campinas - SP. 279 p.

GRIGG, N. S. e. WILLE, S.A.C., 1979. Drenagem Urbana e Controle de Enchentes no Brasil. Revista de Saneamento. v. 53. n. 1 e 2. p. 40-45.

HERNANDEZ, V., 1997. Modelo Tupi.

KRONKA, F.J.N., et al., 1993. Inventário Florestal do Estado de São Paulo. Instituto Florestal.

LAGO, P. F., 1989. Enchentes-Erosão-Vegetação. Anais do II Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente. Florianópolis - SC. p. 258-266.

MCCULLOCH, J. S. G. e ROBINSON, M., 1993. History of Forest Hydrology. Journal of Hydrology. v. 150. p. 189-216.

MOLCHANOV, A. A., 1963. Hidrologia Florestal, traduzido por Zózimo Pimenta de Castro Rego. Ed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 419p.

NANDAKUMAR, N. e MEIN R. G., 1997. Uncertainty in rainfall-runoff model simulations and the implications for predicting the hydrological effects of land-use change. Journal of Hydrology. v. 192. p. 211-232.

OGAWA, H. Y. et. al., 1983. Inventário Florestal do Estado de São Paulo - Vale do Paraíba. Governo do Estado de São Paulo - Secretaria de Agricultura e Abastecimento - Coordenadoria da Pesquisa de Recursos Naturais - Instituto Florestal. São Paulo.

PEREIRA, H.C., 1973. Land Use and Water Resources. Cambridge. 246 p.

QUEIROZ, J. P. de, 1989. Vegetação - Fator de Proteção do Solo. Anais do II Encontro Nacional de Estudos do Meio Ambiente. Florianópolis - SC. p. 267-278.

REFOSCO, J. C. e PINHEIRO, A., 1992. Influência da Floresta no regime hidrológico de uma sub-bacia do Rio Itajaí-Acú. Anais do 2º Congresso Nacional sobre Essências Nativas. São Paulo – SP. p. 888-893.

RUPRECHT, J. K. e SCHOFIELD, N.J., 1989. Analysis of Streamflow Generation Following Deforestation in Southwest Western Australia. Journal of Hydrology v. 105. p. 1-17.

SAHIN, V. e HALL, M. J., 1996. The effects of afforestation and deforestation on water yields. Journal of Hydrology v. 178. p. 293-309.

SERRA FILHO, R. et. al., 1975. Levantamento da Cobertura Vegetal Natural e do Reflorestamento no Estado de São Paulo. Boletim Técnico Instituto Florestal. v. 11. p. 1-56.

SHARMA, M.L. et. al., 1987. Areal Distribution of Infiltration Parameters and some Soil Physical Properties in Lateritic Catchments. Journal of Hydrology. v. 94. p. 109-127.

STIMAMIGLIO, A. Programa de Gestão Ambiental da Área dos Mananciais de Joinville - S.O.S Nascentes. <URL <http://www.blumenau.zaz.com.br/sosnasc>> Atualizado em 12 de março de 1999. 1993

TUCCI, C. E. M. (Organizador), 1997. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre.

TUCCI, C. E. M., 1998. Modelos Hidrológicos. Editora da UFRGS. P. 490-535.

VICTOR, M. A. M., 1975. A Devastação Florestal. Sociedade Brasileira de Silvicultura. São Paulo. 48p.

WHITEHEAD, P. G. e. ROBINSON, M., 1993. Experimental Basin Studies - an international and historical perspective of forest impacts. Journal of Hydrology. v. 145. p. 217 - 230.

WILLIAMSON, D.R. et. al., 1987. Response of Input and Output of Water and Chloride to Clearing for Agriculture. Journal of Hydrology. v. 94. p. 1-28.