

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – CAMPUS I  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
ÁREA DE ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANITÁRIA

**REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA NAS REGIÕES DO MÉDIO E BAIXO RIO  
PARAÍBA/PB UTILIZANDO VAZÕES SIMULADAS COM O MODELO  
DISTRIBUÍDO NAVMO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

THIAGO DA SILVA ALMEIDA

CAMPINA GRANDE – PB  
Setembro / 2008

THIAGO DA SILVA ALMEIDA

**REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA NAS REGIÕES DO MÉDIO E BAIXO RIO  
PARAÍBA/PB UTILIZANDO VAZÕES SIMULADAS COM O MODELO  
DISTRIBUÍDO NAVMO**

Dissertação apresentada ao curso de  
Pós-Graduação em Engenharia Civil e  
Ambiental, na área de Engenharia  
Hidráulica, em cumprimento às  
exigências para obtenção do Grau de  
Mestre.

Área de Concentração: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS  
Orientador: PROF. EDUARDO ENEAS DE FIGUEIREDO

CAMPINA GRANDE  
Setembro / 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

A447r

2008 Almeida, Thiago da Silva.

Regionalização hidrológica nas regiões do médio e baixo rio Paraíba/PB utilizando vazões simuladas com o modelo distribuído NAVMO / Thiago da Silva Almeida. — Campina Grande, 2008.

111f. : il.

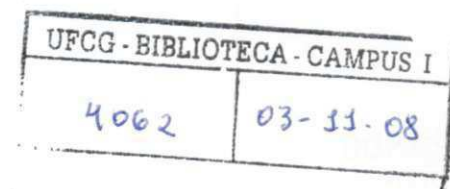
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Dr. Eduardo Eneas de Figueiredo.

1. Hidrologia. 2. Regionalização. 3. Modelos distribuídos. 4. Simulação Hidrológica. I. Título.

CDU –556 (043)



**THIAGO DA SILVA ALMEIDA**

**REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA NAS REGIÕES DO MÉDIO E BAIXO RIO  
PARAIBA/PB UTILIZANDO VAZÕES SIMULADAS COM O MODELO DISTRIBUÍDO  
NAVMO**

Aprovada em 19 de setembro de 2008

**COMISSÃO EXAMINADORA:**



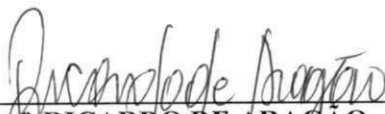
---

**Prof. EDUARDO ENEAS DE FIGUEIREDO - PhD**  
Presidente – Orientador (UAEC / CTRN / UFCG – PB)



---

**Prof. VAJAPEYAM SRIRANGACHAR SRINIVASAN - PhD**  
Examinador Interno (UAEC / CTRN / UFCG – PB)



---

**Prof. RICARDO DE ARAGÃO - Dr**  
Examinador Externo (UFS – SE)

**CAMPINA GRANDE-PB**

**SETEMBRO DE 2008**

## **DEDICATÓRIA**

**À minha mãe Palmira, ao meu pai João, e aos meus irmãos Thiany e Thallis, DEDICO.**

## AGRADECIMENTOS

À **Deus**, pelas dádivas que me concedeu ao longo da minha vida e por estar sempre ao meu lado em todas as horas.

Ao meu orientador **Prof.Dr. Eduardo Eneas de Figueiredo**, pelo incentivo, paciência e disponibilidade durante o mestrado.

À minha mãe **Palmira da Silva Almeida**, pelo carinho e amor que me deu em todos os instantes e pela sua dedicação e paciência comigo.

Ao meu pai **João Pereira de Almeida**, pelo seu amor, pelo apoio e incentivo nos estudos e pelo exemplo deixado.

Aos meus irmãos **Thiany da Silva Almeida e Thallis da Silva Almeida**, pelo apoio, compreensão e companheirismo que me ajudaram durante todo o tempo.

Aos meus amigos **Newton César, Ivonaldo Lacerda, Allam Pereira e Jânio Marcos dos Santos**, pelo apoio em todos os momentos de dificuldades encontrados, pelos auxílios e pela sempre presente amizade, o meu muito obrigado.

A minha namorada **Katiane Suenne de Brito**, pelo seu amor, paciência e compreensão em todos os momentos.

Aos alunos, professores e funcionários do Laboratório de Hidráulica da UFCG, pela amizade, apoio e estímulo recebidos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo suporte financeiro através da bolsa de estudo para a realização desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, pelo apoio financeiro para publicação e participação em eventos.

Ao CNPq pelo apoio através do projeto de pesquisa MODHIPB – Processo N° 474430/2006-5.

Enfim, a todos aqueles que de forma direta ou indireta contribuíram e ajudaram com este trabalho.

## RESUMO

Esta pesquisa apresenta e discute os resultados da regionalização hidrológica nas bacias do médio e baixo rio Paraíba/PB utilizando dados simulados com o modelo distribuído NAVMO, bem como os resultados de séries de vazões anuais médias e máximas de longo período (1911-1983) simuladas com o modelo, calibrado com base em dados observados em determinados períodos em algumas bacias, as quais foram utilizadas na determinação de funções hidrológicas regionais. A homogeneidade e consistência das simulações foram analisadas a partir de testes sugeridos na literatura. A homogeneidade foi analisada com o teste sugerido por Schulz (dupla massa), enquanto que a estacionariedade foi analisada com os testes estatísticos t de Student e F de Snedecor. Também foi empregado o teste não paramétrico de Wilcoxon, bem como investigadas as distribuições de probabilidade de Gauss, Gama e Person III no caso de vazões médias e log-Normal, Gumbel, Gama e Pearson III no caso das vazões máximas, tendo em vista que os resultados obtidos nas simulações não puderam ser comparados na sua maioria com dados observados por não existirem na maior parte do período. Os resultados mostram que as séries geradas são homogêneas. De acordo com o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de significância, as distribuições de probabilidade investigadas foram aceitas com exceção da distribuição Normal para vazões médias. Regressões simples e múltiplas foram estabelecidas entre variáveis hidrológicas e variáveis físicas e climáticas da bacia. Os resultados mostram que as vazões máximas foram bem explicadas pelas variáveis físicas e climáticas consideradas. Os parâmetros da curva de permanência bem como os da distribuição Gama, única regionalmente aceita em toda a bacia do rio Paraíba/PB, foram regionalizados através de mapas de isolíneas permitindo assim a determinação de vazões médias com qualquer nível de garantia e vazões extremas com qualquer tempo de retorno em qualquer local da região do rio Paraíba/PB.

## ABSTRACT

This dissertation shows and discuss the rainfall-runoff modelling results for the upper and lower parts of the Paraíba/PB river basin, as well as the simulations results of long-term time series (1911-1983) utilizing the distributed model NAVMO, which was calibrated based on observed short period of data at some catchments in the region. Long-term simulations were utilized to establish regional hydrologic functions. The simulations were submitted to tests of homogeneity and consistency such as the double mass suggested by Schulz, the t-test of Student, the F-test of Snedecor, the non-parametric test of Wilcoxon, and typical distributions of probability investigated such as Gauss, Gama, Pearson III in the case of mean annual discharges, and ln-Gauss, Gama, Gumbel and Pearson III in the case of maximum annual discharges. Curves of permanence were also investigated. The results showed that the simulated series are homogeneous, and according with the Kolmogorov-Smirnov test, all probability distributions were accepted at 5% of significance, except the distribution of Gauss for the mean annual discharges. Simple and multiple regressions were established between hydrologic variables, and physical and climatic catchment characteristics, with good results. The parameters of the curves of permanence and the distribution of probability regionally accepted, Gama, were regionalized through maps of isolines for the whole Paraíba river basin, with which it is possible to determine the discharge with a certain level of guarantee, and maximum discharges with chosen return period at any place in the region of the Paraíba river basin.



## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA.....</b>	<b>i</b>
<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>ii</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>v</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>x</b>
<b>1.0 – INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 – Objetivo da pesquisa.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 – Estrutura da Dissertação.....</b>	<b>3</b>
<b>2.0 – REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 – Introdução.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 – Identificação de Regiões Homogêneas.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3 – Métodos e Variáveis na Regionalização.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3.1 – Método dos Indicadores Regionais.....</b>	<b>7</b>
<b>2.3.2 – Funções Regionais.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.3 – Análise de Regressão.....</b>	<b>9</b>
<b>2.3.4 – Variáveis Físicas.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.5 – Variáveis Climáticas.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3.6 – Variáveis Hidrológicas.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.6.1 – Série de Vazões Máximas.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.6.2 – Série de Vazões Médias.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.6.3 – Série de Vazões Mínimas.....</b>	<b>12</b>
<b>2.3.6.4 – Curva de Permanência.....</b>	<b>12</b>
<b>2.4 – Estudos de Regionalização.....</b>	<b>12</b>
<b>2.5 – Análise de Homogeneidade e Consistência.....</b>	<b>16</b>
<b>2.5.1 – Testes Paramétricos.....</b>	<b>16</b>
<b>2.5.2 – Teste não-paramétrico de Wilcoxon.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5.3 – Teste de Dupla Massa para Vazões Máximas e Vazões Médias....</b>	<b>18</b>
<b>2.5.4 – Distribuição de Probabilidade.....</b>	<b>19</b>
<b>2.5.4.1 – Distribuição Normal.....</b>	<b>19</b>
<b>2.5.4.2 – Distribuição Log – Normal.....</b>	<b>20</b>
<b>2.5.4.3 – Distribuição Pearson III.....</b>	<b>20</b>

2.5.4.4 – Distribuição Gama.....	21
2.5.4.5 – Distribuição Gumbel.....	22
2.5.5 – Teste de Kolmogorov-Simirnov.....	22
2.6 – Modelos Hidrológicos.....	23
2.6.1 – Introdução.....	23
2.6.2 – Modelos Hidrológicos: Classificação e Tipos.....	24
2.6.2.1 – Modelos Distribuídos.....	24
2.6.3 – Procedimentos para Utilização de Modelos Hidrológicos.....	25
2.6.4 – Pesquisas Recentes Utilizando Modelos Distribuídos.....	26
2.6.5 – Pesquisas Recentes Utilizando o Modelo NAVMO.....	27
3.0 – O MODELO NAVMO.....	31
3.1 - Características Gerais do Modelo NAVMO.....	31
3.2 - Estimativa da Precipitação Média nas Sub-Bacias.....	34
3.3 – O Balanço Hídrico dos Reservatórios.....	34
3.4 - Capacidade dos Reservatórios.....	35
3.5 - Transformação das Lâminas dos Escoamentos.....	37
3.5.1 – Hidrograma Superficial (QD1).....	37
3.5.2 - Hidrograma Sub-Superficial (QD2).....	37
3.5.3 - Hidrograma Subterrâneo.....	38
3.6 - Propagação do Escoamento nos Canais.....	39
3.7 - Parâmetros Calibráveis do Modelo NAVMO.....	40
3.8 - Resultados Gerados pelo Modelo NAVMO.....	40
4.0 – ÁREA DE ESTUDO E BASE DE DADOS.....	41
4.1 – Bacia Hidrográfica do rio Paraíba/PB.....	41
4.2 – Sub-bacia do rio Taperoá.....	41
4.3 – Sub-bacia do Alto rio Paraíba.....	42
4.4 – Sub-bacia do Médio rio Paraíba.....	43
4.5 – Sub-bacia do Baixo rio Paraíba.....	43
4.6 – Dados Hidroclimatológicos.....	44
5.0 – MODELAGEM DO ESCOAMENTO E SIMULAÇÃO DE SÉRIES.....	48
5.1 – Modelagem do Escoamento.....	48
5.1.1 – Postos Pluviométricos Selecionados.....	48
5.1.2 – Calibração dos Parâmetros.....	49
5.1.3 – Resultados da Modelagem.....	49

5.1.4 –Resultado da Validação Relizada por Lima (2008).....	53
5.2 – Simulação de Séries de Longo Período.....	54
5.2.1 –Postos Pluviométricos Seleccionados.....	54
5.2.2 – Abordagem Utilizada na Parametrização.....	55
5.2.3 – Seleção de Bacias para Simulação.....	56
5.2.4 – Resultados das Simulações de Longo Período em Bacias com Dados Observados.....	56
5.2.5 –Resultados das Simulações de Longo Período em Bacias sem Dados Observados.....	58
5.3 – Análise das Séries Simuladas.....	63
6.0 – REGIONALIZAÇÃO DO MÉDIO E BAIXO RIO PARAÍBA/PB.....	66
6.1 – Introdução.....	66
6.2 - Séries Simuladas.....	66
6.2.1 – Vazões Máximas e Médias.....	67
6.2.2 – Vazões Mínimas.....	67
6.3 – Análise dos Resultados dos Testes de Estacionariedade das Séries de Vazões....	68
6.4 – Verificação da Homogeneidade das Séries.....	69
6.4.1 – Teste de Dupla Massa para Vazões Máximas e Vazões Médias....	69
6.5 – Relação entre os Indicadores Regionais.....	70
6.6 – Resultado dos Testes das Distribuições de Probabilidade e Análise de Regressões.....	72
6.6.1 – Vazões Máximas.....	73
6.6.2 – Vazões Médias.....	79
6.6.3 – Vazão Mínima.....	82
6.6.4 – Vazão Média de Longo Período.....	83
6.7 – Regionalização de Parâmetros.....	84
7.0 – ANÁLISE DOS RESULTADOS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	89
7.1 – Análise dos Resultados.....	89
7.2 – Conclusões.....	90
7.3 – Recomendações.....	91
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Série anual de vazões máximas simuladas em Acauã.....	17
Figura 3.1 – Fluxograma do modelo NAVMO (Kleeberg et al., 1989).....	33
Figura 3.2 – Representação do processo de precipitação-vazão- evaporação no modelo NAVMO (Kleeberg et al., 1989).....	33
Figura 3.3 – Seção transversal do rio (Kleeberg et al., 1989).....	39
Figura 4.1 – Bacia do Rio Paraíba e suas sub-bacias.....	41
Figura 4.2 – Distribuição dos Postos Fluviométricos nas Bacias do Médio e Baixo Rio Paraíba/PB.....	45
Figura 5.1 – Modelagem das Bacias do Médio e Baixo Rio Paraíba.....	48
Figura 5.2 – Volumes Anuais Simulados e Observados na bacia de Guarita. (Fonte: Lima, 2008).....	50
Figura 5.3 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Guarita (Fonte: Lima, 2008).....	50
Figura 5.4 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1972 e Simulado com parâmetros calibrados pelo Volume. (Fonte: Lima, 2008).....	50
Figura 5.5 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1972 e Simulado com parâmetros calibrados pela Vazão Máxima Anual. (Fonte: Lima, 2008).....	51
Figura 5.6 – Volumes Anuais Simulados e Observados na bacia de Ponte da Batalha. (Fonte: Lima, 2008).....	51
Figura 5.7 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Ponte da Batalha. (Fonte: Lima, 2008).....	52
Figura 5.8 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte da Batalha em 1972 e Simulado com parâmetros calibrados pelo Volume. (Fonte: Lima, 2008).....	52
Figura 5.9 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte da Batalha em 1984 e Simulado com parâmetros calibrados pela Vazão Máxima Anual. (Fonte: Lima, 2008).....	53
Figura 5.10 – Simulação de vazões máximas da bacia de Guarita.....	57
Figura 5.11 – Simulação de vazões médias da bacia de Guarita.....	57
Figura 5.12 – Simulação de vazões máximas da bacia de Ponte da Batalha.....	58
Figura 5.13 – Simulação de vazões médias da bacia de Ponte da Batalha.....	58
Figura 5.14 – Simulação de vazões máximas da bacia de Acauã.....	59

---

<b>Figura 5.15– Simulação de vazões médias da bacia de Acauã.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 5.16– Simulação de vazões máximas da bacia de SBBA.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 5.17– Simulação de vazões médias da bacia de SBBA.....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 5.18 – Simulação de vazões máximas da bacia de SBBB.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 5.19 – Simulação de vazões médias da bacia de SBBB.....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 5.20 – Simulação de vazões máximas da bacia de SBBC.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 5.21 – Simulação de vazões médias da bacia de SBBC.....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 5.22 – Simulação de vazões máximas da bacia da Foz.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 5.23 – Simulação de vazões médias da bacia da Foz.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 6.1 – Análise de consistência das séries de Vazões Máximas.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 6.2 – Análise de consistência das séries de Vazões Médias.....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 6.3 – Mapas de Isolíneas dos parâmetros da Curva de Permanência – Parâmetro a.....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 6.4 – Mapas de Isolíneas dos parâmetros da Curva de Permanência – Parâmetro b.....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 6.5 – Mapas de Isolíneas dos parâmetros da Distribuição Gama - Parâmetro <math>\alpha</math>.....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 6.6 – Mapas de Isolíneas dos parâmetros da Distribuição Gama - Parâmetro <math>\beta</math>.....</b>	<b>88</b>

---

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Disponibilidade de dados observados nas estações de medições de vazões.....	45
Tabela 4.2 – Evaporação Média Diária.....	45
Tabela 4.3 – Postos Pluviométricos Seleccionados.....	46
Tabela 4.4 – Variáveis Independentes utilizadas para Regionalização.....	47
Tabela 5.1 – Disponibilidade de dados observados nas estações de medições de vazões.....	49
Tabela 5.2 – Postos Pluviométricos utilizados para simulações do período de 1911 a 1983.....	55
Tabela 5.3 – Parâmetros médios da calibração pelos picos – Anos Úmidos.....	55
Tabela 5.4 – Parâmetros médios da calibração pelos picos – Anos Normais.....	55
Tabela 5.5 – Parâmetros médios da calibração pelos volumes – Anos Úmidos.....	55
Tabela 5.6 – Parâmetros médios da calibração pelos volumes – Anos Normais.....	55
Tabela 5.7 – Estações sem dados observados.....	59
Tabela 5.8 – Vazões máximas simuladas e observadas nas bacias de Guarita e Ponte da Batalha.....	64
Tabela 5.9 – Vazões médias anuais simuladas e observadas na bacia de Guarita e Ponte da Batalha.....	65
Tabela 6.1 – Curva de Permanência das Sub-bacias do Médio e Baixo Paraíba.....	67
Tabela 6.2 – Teste de Student para Vazões Máximas ( $\alpha = 5\%$ ).....	68
Tabela 6.3 – Teste de Student para Vazões Médias ( $\alpha = 5\%$ ).....	68
Tabela 6.4 – Teste de Snedecor Vazões Máximas ( $\alpha = 5\%$ ).....	68
Tabela 6.5 – Teste de Snedecor Vazões Médias ( $\alpha = 5\%$ ).....	69
Tabela 6.6 – Teste de Wilconxon Vazões Máximas ( $\alpha = 5\%$ ).....	69
Tabela 6.7 – Teste de Wilconxon Vazões Médias ( $\alpha = 5\%$ ).....	69
Tabela 6.8 – Variáveis Hidrológicas (Vazões Máximas).....	71
Tabela 6.9 – Variáveis Hidrológicas.....	72
Tabela 6.10 – Variáveis Hidrológicas.....	72
Tabela 6.11 – Variáveis Hidrológicas.....	72
Tabela 6.12 – Variáveis Independentes utilizadas para Regionalização.....	72
Tabela 6.13 – Teste da distribuição Gama (Vazões Máximas).....	73
Tabela 6.14 – Equação de Regressão Simples para $a_T$ (distribuição Gama).....	74

Tabela 6.15 – Equações de Regressões entre Vazões Máximas e Área para diferentes períodos de retorno (distribuição Gama).....	74
Tabela 6.16 – Equações de Regressões Lineares Múltiplas para $Q_2$ (distribuição Gama).....	74
Tabela 6.17 – Equações de Regressões Potenciais Múltiplas para $Q_2$ (distribuição Gama).....	74
Tabela 6.18 – Teste da distribuição de Pearson III (Vazões Máximas).....	75
Tabela 6.19 – Equação de Regressão Simples para $a_T$ (distribuição Pearson III).....	75
Tabela 6.20 – Equações de Regressões entre Vazões Máximas e Área para diferentes períodos de retorno (distribuição Pearson III).....	75
Tabela 6.21 – Equações de Regressões Lineares Múltiplas para $Q_2$ (distribuição Pearson III).....	76
Tabela 6.22 – Equações de Regressões Potenciais Múltiplas para $Q_2$ (distribuição Pearson III).....	76
Tabela 6.23 – Teste da distribuição Log-Normal (Vazões Máximas).....	76
Tabela 6.24 – Equação de Regressão Simples para $a_T$ (distribuição Log-Normal).....	77
Tabela 6.25 – Equações de Regressões entre Vazões Máximas e Área para diferentes períodos de retorno (distribuição Log-Normal).....	77
Tabela 6.26 – Equações de Regressões Lineares Múltiplas para $Q_2$ (distribuição Log-Normal).....	77
Tabela 6.27 – Equações de Regressões Potenciais Múltiplas para $Q_2$ (distribuição Log-Normal).....	78
Tabela 6.28 – Teste de ajustamento da distribuição Gumbel (Vazões Máximas).....	78
Tabela 6.29 – Equação de Regressão Simples para $a_T$ (distribuição Gumbel).....	78
Tabela 6.30 – Equações de Regressões entre Vazões Máximas e Área para diferentes períodos de retorno (distribuição Gumbel).....	79
Tabela 6.31 – Equações de Regressões Lineares Múltiplas para $Q_{2,33}$ (distribuição Gumbel).....	79
Tabela 6.32 – Equações de Regressões Potenciais Múltiplas para $Q_{2,33}$ (distribuição Gumbel).....	79
Tabela 6.33 – Teste da distribuição Gama (Vazões Médias).....	80
Tabela 6.34 – Equações de Regressões entre Vazões Médias e Área para diferentes períodos de retorno (distribuição Gama).....	80

<b>Tabela 6.35 – Equações de Regressões Lineares Múltiplas para <math>Q_2</math> (distribuição Gama).....</b>	<b>81</b>
<b>Tabela 6.36 – Equações de Regressões Potenciais Múltiplas para <math>Q_2</math> (distribuição Gama).....</b>	<b>81</b>
<b>Tabela 37 – Teste da distribuição Pearson III (Vazões Médias).....</b>	<b>81</b>
<b>Tabela 6.38 – Equações de Regressões entre Vazões Médias e Área para diferentes períodos de retorno (distribuição Pearson III).....</b>	<b>82</b>
<b>Tabela 6.39 – Equações de Regressões Lineares Múltiplas para <math>Q_2</math> (distribuição Pearson III).....</b>	<b>82</b>
<b>Tabela 6.40 – Equações de Regressões Potenciais Múltiplas para <math>Q_2</math> (distribuição Pearson III).....</b>	<b>82</b>
<b>Tabela 6.41 – Equações de Regressões Lineares Múltiplas para <math>Q_{95\%}</math>.....</b>	<b>83</b>
<b>Tabela 6.42 – Equações de Regressões Potenciais Múltiplas para <math>Q_{95\%}</math>.....</b>	<b>83</b>
<b>Tabela 6.43 – Equações de Regressões Lineares Múltiplas para <math>Q_{mlp}</math>.....</b>	<b>84</b>
<b>Tabela 6.44 – Equações de Regressões Potenciais Múltiplas para <math>Q_{mlp}</math>.....</b>	<b>84</b>
<b>Tabela 6.45 – Parâmetros da Curva de Permanência – Vazão Média.....</b>	<b>85</b>
<b>Tabela 6.46 – Parâmetros da Distribuição Gama – Vazão Máxima.....</b>	<b>86</b>



# CAPÍTULO 1

## 1.0 – INTRODUÇÃO

A água é um bem imprescindível para o desenvolvimento da sociedade humana, constituindo o principal recurso natural essencial à vida. Assim, o planejamento, o gerenciamento e a gestão da oferta e da demanda dos recursos hídricos em bacias hidrográficas são cada vez mais indispensáveis, conforme prevê a lei 9.433/97 Mendes (2007).

De acordo com a lei 9.433/97 o diagnóstico, o planejamento e o gerenciamento tomam como unidade de estudo a bacia hidrográfica e para isso são necessários dados confiáveis e representativos do ponto de vista físico, hidrológico e climatológico. Assim, é necessária a existência de redes de medição de variáveis hidrometeorológicas que possuam séries com observações de dados contínuos e bem distribuídas espacialmente. No entanto, na maioria das bacias, principalmente as do semi-árido, as redes são precárias, particularmente as de medições do escoamento que apresentam séries curtas e com falhas.

A modelagem hidrológica (Lima, 2008; Costa, 2008) e a regionalização de variáveis hidrológicas (Nunes, 2005) em grandes bacias tem sido efetuadas através do uso de modelos de simulação hidrológica. Segundo Tucci (1998) e Figueiredo (1998), a geração de séries de longo período em locais sem monitoramento ou com falhas nos dados observados é um dos objetivos que pode ser alcançado com a utilização de modelos de simulação, além da regionalização de variáveis climatológicas (Aragão et al, 1998) e hidrológicas (Crispim, 2005).

O processo de calibração de modelos, dados de entrada de má qualidade e modelagem inadequada de bacia podem influenciar os parâmetros na calibração e os resultados das simulações serem mais incertos (Batista, 2006). Diante da grande necessidade de se ter dados hidrológicos homogêneos, consistentes e representativos de uma dada região, ferramentas de fundamentação estatística são utilizadas para verificar a homogeneidade e consistência de dados simulados por modelos hidrológicos (Nunes, 2005; Crispim, 2005; Batista, 2006). Por exemplo, com a utilização de técnicas simples indicadas na literatura (Shulz, 1973; Koch & Rego, 1985) é possível verificar a homogeneidade e estacionariedade de uma dada série hidrológica.

Dentre os diversos testes estatísticos usados para investigar a homogeneidade e possíveis inconsistências destacam-se: o teste de homogeneidade regional (dupla massa) proposto por Schulz (1973), os testes paramétricos t de Student, para a média, e F de Snedecor

(Fonseca et al, 1978), para a variância, o teste não paramétrico de Wilcoxon (Koch e Rego, 1985) e as distribuições de probabilidade que representem o universo do qual os dados pertencem, sendo as distribuições de Gauss ou Normal, Gama, Gumbel e Pearson III as mais testadas na hidrologia. As distribuições Gama, Gumbel, Pearson III e a log-Normal são testadas com dados de valores extremos. Já a distribuição Normal tem sido investigada com dados de valores médios (Kite, 1977).

A regionalização ou análise regional é uma técnica que vem sendo utilizada para estimar variáveis hidrológicas (e.g. vazão máxima, mínima, etc) (Rego et al, 1989; Aragão et al, 1998; Elesbon et al, 2002) em bacias que apresentam séries de dados curtas e/ou com falhas. A previsão das variáveis em bacias com dados deficientes, ou inexistentes, pode ser investigada pela análise e aplicação de técnicas aos dados existentes em bacias que pertençam à mesma região hidrológica (Chow, 1964). Portanto, fundamenta-se na homogeneidade climática e fisiográfica da região.

Estudos de regionalização utilizando séries simuladas são fundamentais uma vez que os modelos podem suprir a falta de dados. Nesse sentido, Nunes (2005) realizou a modelagem do escoamento e estabeleceu funções regionais para vazões no alto rio Paraíba/PB, incluindo a bacia de Taperoá.

O presente trabalho é uma continuidade do estudo de Nunes (2005) utilizando o mesmo modelo de simulação (NAVMO) aplicado as bacias do médio e baixo curso do rio Paraíba/PB, entre a barragem de Boqueirão e a Foz do rio Paraíba/PB, compreendendo uma área líquida de 7.373 km<sup>2</sup>. Nesta etapa, realiza-se a modelagem do escoamento com base nos dados observados nas estações de Guarita (4.843 km<sup>2</sup>) e Ponte da Batalha (6.867 km<sup>2</sup>) bem como a simulação de séries anuais de vazões (médias e máximas) para o período de 1911 a 1983. A modelagem tem por base os resultados de Lima (2008), realizada para anos classificados como secos, normais e úmidos. A homogeneidade e consistência das séries simuladas foram verificadas através de técnicas estatísticas, identificando assim o modelo probabilístico que melhor se ajusta às frequências das séries simuladas, às quais serviram de base para a regionalização hidrológica.

Foram regionalizados, o índice regional de cheia (Rego et al, 1989), a curva de permanência e distribuições de probabilidades testadas com o método de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5%. Foram empregadas ainda análises de correlação e regressão simples e múltipla entre as variáveis hidrológicas (vazões máximas, médias e mínimas) e as características físicas (área da bacia, comprimento do rio principal, densidade de drenagem e a declividade média da bacia) e climáticas (precipitação média, máxima anual

e média diária máxima anual) das bacias. Mapas de isolíneas dos parâmetros das curvas de permanência e da distribuição de probabilidade regionalmente aceita, foram estabelecidos com base nos resultados do presente estudo e naqueles obtidos por Nunes (2005).

### **1.1 – Objetivo da pesquisa**

O objetivo principal dessa pesquisa é a aplicação das técnicas de regionalização nas regiões do Médio e Baixo Rio Paraíba/PB utilizando as séries simuladas pelo modelo distribuído NAVMO, para obtenção de funções matemáticas que relacione as principais variáveis hidrológicas (Vazões máximas, médias e com 95% de garantia) com características físicas (área, comprimento do rio principal, densidade de drenagem, declividade média da bacia) e climáticas (precipitação média, máxima anual e média diária máxima anual) das bacias, permitindo assim a quantificação dessas variáveis hidrológicas, que são de suma importância para o planejamento, gerenciamento e a gestão integrada dos recursos hídricos.

### **1.2 – Estrutura da Dissertação**

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica sobre as técnicas de regionalização, assim como vários estudos desenvolvidos sobre regionalização hidrológica, as técnicas estatísticas aplicadas e, em seguida, alguns conceitos sobre modelos, pesquisas utilizando modelos distribuídos e o modelo distribuído NAVMO.

O capítulo 3 descreve o modelo distribuído NAVMO, bem como as equações utilizadas para representar os processos que compõem o ciclo hidrológico e suas particularidades.

O capítulo 4 descreve a região de estudo (baixo e médio rio Paraíba/PB) apresentando características como clima, tipo de solo e cobertura vegetal, a base de dados, assim como indica os diversos postos pluviométricos e fluviométricos utilizados para as simulações.

No capítulo 5 é apresentada inicialmente toda a modelagem da área, parametrização do modelo com sua calibração e validação para área de estudo (baixo e médio rio Paraíba/PB). Também é descrito o processo de simulação, os postos pluviométricos selecionados que resultaram na montagem de três bancos de dados (1911 a 1983, 1930 a 1983 e 1963 a 1983), a escolha dos parâmetros do modelo NAVMO, e na sua parte final apresenta os resultados das simulações (vazões máximas e médias) para 7 sub-bacias, sendo duas com dados (Guarita e Ponte da Batalha) e cinco sem dados (Acauã, SBBA, SBBB, SBBC e Foz), e uma análise dos resultados.

No capítulo 6 são descritos os resultados dos testes de homogeneidade (dupla massa), consistência (t-test, F-test e Wilconxon), distribuições de probabilidade e regionalização hidrológica, com apresentação das varias equações de regressão determinadas para as diversas relações entre as variáveis hidrológicas e as físicas e climáticas das bacias, bem como dos mapas de isolíneas dos parâmetros da curva de permanência e distribuição de probabilidade regionalmente aceita.

No capítulo 7 encontra-se as análises dos resultados, conclusões e recomendações para desenvolvimento de estudos futuros.

## CAPÍTULO 2

### 2.0 – REVISÃO DE LITERATURA

#### 2.1 – Introdução

A bacia hidrográfica é a unidade física onde ocorrem os processos do ciclo hidrológico, sendo as vazões o resultado da interação entre os vários processos (e.g., precipitação, evapotranspiração, interceptação, etc.) ao longo da bacia. Assim, redes hidrometeorológicas que forneçam dados contínuos e bem distribuídos espacialmente são essenciais para estudos de regionalização. No entanto, são de elevado custo de instalação, operação e manutenção e, desse modo, estudos de métodos de estimativa e simulação de processos hidrológicos em locais sem informações, como o uso de modelos distribuídos e a regionalização hidrológica são cada vez mais realizados para suprir a falta de dados.

A regionalização ou técnica regional vem sendo muito utilizada em regiões homogêneas do ponto de vista físico e climático sem monitoramento, ou com uma rede de medição pequena e/ou ainda com falhas (Elesbon et al. 2002). Segundo Tucci (2000), por mais densa que seja a rede de monitoramento hidrometeorológica ela dificilmente atenderá com seus dados todas as necessidades de informações requeridas para um planejamento e gerenciamento ótimo dos recursos hídricos. Ainda, segundo Tucci (2000), nenhum estudo poderá substituir uma rede adequada de monitoramento e a regionalização não deve ser vista como um método de extrapolação, devido à variabilidade dos processos hidrológicos e da região hidrológica.

È importante lembrar que nenhum modelo, técnica matemática ou estatística é capaz de criar informações. Portanto, a existência de uma rede de monitoramento é imprescindível para que seja possível conhecer o comportamento dos processos hidrológicos da região de estudo. Contudo isso não significa que técnicas de estimativa de processos hidrológicos, como a utilização de modelos de simulação e a regionalização, não possam ser utilizadas. Muito pelo contrário, elas são necessárias e muito importantes, desde que devidamente bem empregadas. Evidentemente, que os resultados obtidos com a aplicação de uma regionalização nunca irá substituir as observações feitas em campo, e podem se distanciar dos valores reais, mas as decisões tomadas com base neste tipo de estudo são mais consistentes do que aquelas tomadas com base em extrapolações empíricas (Strobel, 1987).

A regionalização se apresenta como uma ferramenta útil ao planejamento dos recursos hídricos, tendo em vista a grande dificuldade de se ter uma rede ótima de monitoramento. A regionalização pode ser de parâmetros, funções, processos, dentre outras, através da qual é possível se determinar uma variável num local sem nenhuma informação. Para que isso seja possível é necessário que a região em estudo seja homogênea do ponto de vista físico e climático. Segundo Tucci e Clark (2001), as regiões homogêneas são definidas pela delimitação de áreas que apresentem semelhanças nas características das variáveis climáticas e fisiográficas. Para isso, são utilizadas metodologias estatísticas para verificar se as características não diferem significativamente. Segundo Tucci (1997), a técnica da regionalização explora ao máximo as informações existentes por meio de ferramentas que são capazes de estimar variáveis hidrológicas em locais com poucos dados ou desprovidos de monitoramento.

Assim como em qualquer estudo que envolva a previsão de variáveis através de métodos de estimativa na regionalização hidrológica, a qualidade dos dados de entrada é essencial para que sejam desenvolvidas equações que expressem todas as variabilidades dos processos. Desta forma, antes de se iniciar a regionalização propriamente dita é necessária à realização de uma análise da qualidade dos dados históricos. Segundo Tucci (1993), os postos devem ser classificados de acordo com a qualidade das informações disponíveis. A classificação auxiliará o usuário a definir a análise regional baseado nas séries que apresentem os dados mais confiáveis. Caso os dados utilizados na regionalização não sejam de boa qualidade ou inconsistentes, a análise em escala regional poderá fornecer funções e parâmetros que não representam bem os processos, mesmo que haja homogeneidade fisiográfica.

Segundo Elesbon et al (2002), muitos estudos de regionalização vem sendo desenvolvidos em todo o mundo ao longo dos anos podendo-se citar entre outros: Wright (1970) que apresentou uma equação de avaliação das médias das vazões mínimas usando a declividade e a área da bacia como variáveis independentes; o Institute of Hydrology (1980) que desenvolveu um estudo regional de vazão mínima para a Inglaterra, Lanna et al. (1993) que estabeleceram curvas adimensionais de frequência para três regiões da bacia do rio Jacuí, Crispim (2005) que realizou a regionalização hidrológica das vazões máximas, médias e mínimas para região do Alto rio Piranhas/PB utilizando dados simulados com o modelo distribuído NAVMO, Nunes (2005) que também realizou a regionalização hidrológica das vazões máximas, médias e mínimas para região do Alto Rio Paraíba/PB utilizando dados simulados com o modelo distribuído NAVMO.

## **2.2 – Identificação de Regiões Homogêneas**

É considerada homogênea a região com regime fluviométrico e climático relativamente uniforme e onde o tipo de solo, seu uso e o tipo de cobertura vegetal são razoavelmente semelhantes. Segundo (Tucci e Clark, 2001) a homogeneidade de uma região é analisada com base nas suas características físicas e climáticas.

De acordo com Pinto e Naghettini (2000), independentemente do método de regionalização a ser aplicado, um dos pontos mais importantes e cruciais na utilização dessa técnica é a definição de regiões homogêneas, ou seja, regiões onde as várias estações de dados são oriundas de populações que apresentam a mesma distribuição de probabilidade, com os parâmetros de posição e escala variando entre as estações.

De acordo com Hosking e Wallis (1993 e 1995), as regiões homogêneas são identificadas em duas etapas consecutivas: a primeira é baseada nas características locais, enquanto que a segunda consiste em um teste estatístico com base somente nas estatísticas locais, onde se deseja com isso verificar os resultados preliminares obtidos.

Dentre os métodos de identificação de regiões homogêneas apresentam-se entre outros: (a) o Agrupamento subjetivo, (b) o agrupamento objetivo e (c) a análise de Clusters (Hosking e Wallis, 1995). O primeiro método faz a delimitação da região homogênea por agrupamento dos postos de observação em conformidade com a similaridade de algumas características da área de estudo. No segundo método as regiões são formadas pelo agrupamento de postos de observação em um ou mais conjuntos, de modo que uma dada estatística não exceda um valor limite previamente estabelecido. Já o método de Clusters é um método de análise estatística multivariada, onde os postos são associados a um vetor de dados contendo as características e/ou estatísticas locais.

## **2.3 – Métodos e Variáveis na Regionalização**

### **2.3.1 – Método dos Indicadores Regionais**

Um indicador regional é um valor médio de uma variável ou proporção entre variáveis hidrológicas (Tucci, 2002). A relação entre essas variáveis que variam com o tamanho da bacia geram um indicador que possui uma menor variabilidade, e a utilização desses indicadores é usada quando se deseja fazer uma estimativa prévia das variáveis em locais sem

dados e quando se deseja verificar se as ordens de grandezas das variáveis encontradas estão compatíveis com os resultados de uma determinada região. Entre os indicadores regionais podemos citar:

### **I – Vazão Específica**

É definido pela razão entre vazão e a área de contribuição da bacia, e é frequentemente aplicada em estudo de regionalização hidrológica (Tucci, 2002).

$$q = \frac{Q_{mlp}}{A} \quad (2.1)$$

onde  $q$  é a vazão específica,  $Q_{mlp}$  é a vazão média de longo período e  $A$  a área de contribuição da bacia.

### **II – Indicadores com relação à Vazão da Curva de Permanência**

Entre as diversas relações possíveis as mais utilizadas em trabalhos de regionalização são as que relacionam as vazões com 50% e 95% de garantia com a vazão média de longo período (Euclides et al., 2004). Os indicadores que relacionam essas vazões com a vazão média de longo período são dados pelas Equações 2.2 e 2.3 abaixo.

$$rcp_{50\%} = \frac{Q_{50\%}}{Q_{mlp}} \quad (2.2)$$

$$rcp_{95\%} = \frac{Q_{95\%}}{Q_{mlp}} \quad (2.3)$$

onde  $Q_{50\%}$  e  $Q_{95\%}$  são as vazões com 50% e 95% de garantia de ocorrência e  $Q_{mlp}$  é a vazão média de longo período.

### **III – Indicadores de Vazões Mínimas**

Os indicadores de vazões mínimas relacionam vazões mínimas como: a vazão com 7 dias de permanência associada a um período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) com a vazão média de longo período ( $Q_{mlp}$ ), a vazão com 95% de garantia ( $Q_{95\%}$ ) com vazão média de longo período ( $Q_{mlp}$ ), como a Equação 2.3 acima, e ainda relaciona a vazões mínimas, como a vazão com 95% de garantia ( $Q_{95\%}$ ), com a vazão com 7 dias de permanência associada a um período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) (Euclides et al., 2002), tal como as relações apresentadas nas Equações 2.4 e 2.5 abaixo.

$$r_{7,10} = \frac{Q_{7,10}}{Q_{mlp}} \quad (2.4)$$

$$r_m = \frac{Q_{95\%}}{Q_{7,10}} \quad (2.5)$$



### 2.3.2 – Funções Regionais

Uma função regional nada mais é que a relação entre uma variável hidrológica (e.g vazão máxima, média, mínima, etc.) e uma ou mais variáveis explicativas, que podem ser as características físicas da bacia (e.g área, declividade média, comprimento do rio principal, etc.), climáticas (e.g precipitações, etc.) e outras. Essas equações na maioria dos casos são determinadas a partir de técnicas estatísticas, como a regressão simples e múltipla.

### 2.3.3 – Análise de Regressão

Análise de regressão é uma metodologia estatística que utiliza a relação entre duas ou mais variáveis, as quais podem explicar o fenômeno em consideração, de tal forma que uma variável é dependente de outra ou outras.

#### I - Regressão Linear Simples ou Múltipla

A regressão simples (linear ou não linear) relaciona a variável dependente (y) a apenas uma variável independente(x), que pode ser dada pela Equação 2.6 abaixo:

$$y = a + bx \quad (2.6)$$

onde a e b são constantes que podem ser facilmente determinadas pelo método dos mínimos quadrados através das Equações 2.7 e 2.8 abaixo:

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (2.7)$$

$$b = \frac{\sum xy - \bar{x} \sum y}{\sum x^2 - \bar{x} \sum x} \quad (2.8)$$

A variação explicada pela função de regressão é obtida pelo coeficiente de determinação dado em termos dos desvios padrão  $s_x$  e  $s_y$  pela Equação 2.9 abaixo:

$$R^2 = \left( b \frac{s_x}{s_y} \right)^2 \quad (2.9)$$

Já a regressão múltipla envolve duas variáveis independentes ou mais ( $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ ), relacionadas a uma única variável dependente (y). A finalidade das variáveis independentes é investigar quais variáveis melhor explicam o fenômeno em consideração. A função pode ser linear ou não linear conforme as Equações 2.10 e 2.11 abaixo:

$$y = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 + \alpha_4 x_4 + \alpha_5 x_5 + \dots + \alpha_n x_n + \beta \quad (2.10)$$

$$y = \alpha x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} x_3^{\beta_3} \dots x_n^{\beta_n} + \beta \quad (2.11)$$

onde os coeficientes  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \dots, \alpha_n$  e  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$  são calculados através dos mínimos quadrados (Fonseca et al, 1978),  $\beta$  é o erro da estimativa da variável considerado, em geral, igual a zero.

A Equação 2.11 pode ser transformada numa equação linear através da aplicação do logaritmo nos dois membros da equação, definida pela Equação 2.12 abaixo:

$$\ln y = \ln \alpha + \beta_1 \ln x_1 + \beta_2 \ln x_2 + \beta_3 \ln x_3 + \dots + \beta \quad (2.12)$$

### 2.3.4 – Variáveis Físicas

Em estudos de regionalização procura-se estabelecer relações entre as variáveis hidrológicas e as variáveis físicas e climáticas que melhor expliquem os processos hidrológicos da região. Vários estudos na literatura (Tucci, 2002; Nunes, 2005; Crispim 2005) definem parâmetros físicos considerados importantes para explicar o comportamento das variáveis hidrológicas, entre eles: a área de drenagem (A) a área plana delimitada pelo divisor de águas; o comprimento do rio principal (L) definido com sendo aquele que drena a maior área no interior da bacia; a declividade média da bacia ( $S_m$ ), que influi na velocidade do escoamento superficial, afetando principalmente a grandeza das enchentes e pode ser expressa pela Equação 2.13; a densidade de drenagem ( $D_d$ ) que é o índice que indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, fornecendo uma idéia da eficiência do sistema de drenagem da bacia e pode ser expressa através da Equação 2.14 abaixo:

$$S_m = \frac{\Delta H}{\Delta L} \quad (2.13)$$

onde  $\Delta H$  é a diferença entre as cotas do rio principal, no sentido da jusante para montante, e  $\Delta L$  é o comprimento do rio no mesmo sentido.

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{A} \quad (2.14)$$

onde  $L_i$  é o comprimento do segmento  $i$ ,  $A$  é a área total da bacia e  $N$  o número total de segmentos da bacia.

### 2.3.5 – Variáveis Climáticas

Assim como as variáveis físicas, as climáticas também são muito utilizadas em estudos de regionalização, tendo como variável principal a precipitação. São comuns nos estudos de

regionalização os usos de precipitações médias anual, máximas anuais e as anuais máximas diárias (Euclides, 2002; Nunes, 2005; Crispim 2005).

### **2.3.6 – Variáveis Hidrológicas**

Nos estudos de regionalizações, várias são as variáveis hidrológicas que podem ser determinadas através de relações matemáticas com as variáveis físicas e climáticas da bacia. Entre elas podemos citar: a vazão máxima, a média e a mínima, muito aplicada em diversos estudos de regionalização (Tucci, 2002; Euclides, 2004; Nunes, 2005; Crispim, 2005) entre outras.

#### **2.3.6.1 – Série de Vazões Máximas**

A quantificação da vazão máxima é de suma importância para engenharia, devido a sua grande utilidade em projetos de drenagem (e.g, bueiros, galerias, bocas de lobo, entre outros.) e obras hidráulicas (barragens, vertedouros, entre outros.). Segundo Tucci (2002), a vazão máxima é a maior vazão que ocorre em uma seção de um rio e pode ser obtida a curto ou longo prazo. A previsão de curto prazo é feita através do acompanhamento de um evento em tempo real. Já a previsão de longo prazo é feita de forma estatística que pode ser diária ou instantânea em qualquer ano. Esta vazão está ligada a um determinado período de retorno e pode ser obtida por uma distribuição de probabilidade, que tem como objetivo representar a relação entre a vazão extrema e a probabilidade de ocorrer valores maiores ou iguais a esta vazão (Silva e Baena, 2002).

#### **2.3.6.2 – Série de Vazões Médias**

Assim como a vazão máxima a quantificação da vazão média tem grande utilidade na engenharia, devido a sua grande aplicabilidade em diversos projetos de engenharia tais como: obras de abastecimento de água (e.g, adutoras, sistemas de tratamento de água, etc.), irrigação, navegação e obras de produção de energia elétrica. Segundo Tucci (2002) a vazão média é a média aritmética da série disponível num dado local. O conhecimento da vazão média permite estimar o potencial hidrológico da bacia, sendo a máxima vazão possível de ser regularizada (Silva & Baena, 2002).

### **2.3.6.3 – Série de Vazões Mínimas**

As vazões mínimas têm grande importância em estudos de disponibilidade hídrica, servindo como vazão referencial para outorga, instrumento da política nacional de recursos hídricos, definida na lei N° 9.433, em diversas bacias hidrográficas. São usadas também como referência na preservação ambiental, pois, estão relacionadas ao período crítico de disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas. As vazões mínimas mais comuns em estudos de regionalização são as com 50% e 95% de garantia (Tucci, 2002), que podem ser determinadas através de análises de frequência.

### **2.3.6.4 – Curva de Permanência**

A curva de permanência tem grande aplicabilidade em problemas de recursos hídricos (e.g, regularização de vazão, navegação, etc) e são muito usadas em pesquisas de regionalização (Euclides et al., 2004). Expressa a relação entre a vazão e a frequência com que uma dada vazão é igualada ou superada e pode ser elaborada a partir de séries de vazões. Com a determinação da curva de permanência é possível saber se o rio tem vazão aproximadamente constante ou extremamente variável entre os extremos máximos e mínimos e qual é a porcentagem do tempo em que o rio tem vazão suficiente para atender determinada demanda.

A curva de permanência também é útil para diferenciar o comportamento de rios e para avaliar o efeito de modificações na bacia (e.g, desmatamento, reflorestamento, impermeabilização, construção de reservatórios, etc. ).

## **2.4 – Estudos de Regionalização**

O grande objetivo da regionalização hidrológica é a estimativa de variáveis hidrológicas em regiões sem informações, onde só é possível sua aplicação em áreas que apresentem regime fluviométrico e climático relativamente uniforme, visto que essas características definem a resposta hidrológica da região (Franchini e Suppo, 1996). Várias metodologias vêm sendo utilizadas para se fazer a regionalização de regiões homogêneas, onde sua aplicação e validação variam com o método escolhido.

Tucci (1997) classifica os métodos de regionalização em três: regionalização de parâmetros, onde os processos hidrológicos podem ser estimados por funções que contém

parâmetros, considerando para isto que uma distribuição estatística se ajusta bem as frequências dos dados da bacia. O parâmetro é entendido como uma característica intrínseca do local ou de um sistema hídrico (e.g., coeficiente de rugosidade, CN do modelo Soil Conservation Service, etc.). Método de regionalização do evento com um determinado tempo de retorno, onde uma distribuição de probabilidade é ajustada às frequências das vazões dos diferentes postos da área de estudo e utilizada para estimar vazões com certos tempos de retorno de interesse. Método index-flood (Wallims, 1969), que representou um grande avanço nas técnicas de regionalização no final da década de 60, no qual a razão entre a vazão com certo período de retorno e a vazão média (índice de cheia) é definida para cada posto localizado na região estatisticamente homogênea, cujo índice médio é regionalizado.

Silveira et al (1998) formularam metodologias para suprir a falta de monitoramento hidrométrico em pequenas bacias hidrográficas, com a obtenção de dados de vazão. Para regionalização da curva de permanência dois procedimentos podem ser usados: o da parametrização da curva, relacionando os parâmetros com características fisiográficas e climatológicas da bacia e o da interpolação gráfica ou analítica de uma curva passando por vazões com permanências pré-definidas e estimadas a partir das características da bacia (Silveira et al. 1998).

Com a aplicação da técnica de Andrews (1972) segundo Andrade e Hawkins (2000) é possível fazer a inspeção da homogeneidade de grupos de bacias, e ainda a transferência de dados das bacias entre grupos, a qual mostra um alto potencial de uso na classificação de bacias não instrumentadas. A metodologia foi testada em 60 bacias hidrográficas localizadas em regiões semi-áridas do Brasil e áridas dos Estados Unidos e Austrália, onde foi possível, através dos gráficos gerados pelas funções das bacias discrepantes existentes em cada grupo, previamente estabelecidos como homogêneos através da técnica de Clusters. Para se elaborar as funções de Andrews utilizaram-se as variáveis mais relevantes, que são determinadas pela matriz de correlação.

Através de estudos desenvolvidos por Euclides et al (2001) na bacia hidrográfica do rio das velhas, afluente do São Francisco em Minas Gerais, foi possível, usando técnicas de regionalização, determinar curvas de permanências utilizando método interpolativo, regionalizadas através de regressões múltiplas com as características físico-climáticas as vazões com probabilidades de 50 e 95%.

Medeiros et al (2002) desenvolveram estudos de regionalização de curvas de regularização no rio Apodi no Rio Grande do Norte, que são utilizadas para estimativa da capacidade de regularização em locais com dados escassos. Nesta regionalização não são

consideradas as perdas por evaporação do reservatório devido a não-linearidade da equação da continuidade. A evaporação é introduzida como demanda de forma empírica através de comparação com metodologia simplificada apresentada por Tucci (1993), para considerar a evaporação na regionalização. Com base nesses estudos os autores apresentaram uma metodologia alternativa para considerar a evaporação e, desta forma, obter valores mais próximos de evaporação entre valores simulados e obtidos pelo balanço hídrico.

Os estudos de Góes e Campana (2001) levavam em conta as modificações no uso e ocupação do solo, para formulação de modelos para regionalização de vazões. Para isso, utilizavam técnicas de geoprocessamento com imagens de satélites de seis datas diferentes. Com a classificação dessas imagens foi possível perceber as modificações temporais dos percentuais de terras impermeabilizadas, solos expostos e áreas irrigadas.

Diniz e Clarke (2001) apresentaram estudos de regionalização de parâmetros do modelo de chuva-vazão SMAP versão mensal. Onde foram obtidos parâmetros para 14 bacias localizadas na região Semi-Árida do Nordeste brasileiro. Durante o processo de calibração do modelo foram associados às características das bacias, através do uso de rede neural artificial do tipo perceptron de múltiplas camadas, treinadas com algoritmo de retropropagação. Os autores chegaram à conclusão que as redes neurais apresentaram valores de parâmetros bons para algumas bacias e ruins para outras, devido provavelmente ao fato das bacias se encontrarem em diferentes regiões hidrológicas.

Baena (2002) utilizou o método tradicional proposto por ELETROBRÁS (1985) para regionalizar as vazões máxima, mínima e média de longo período e as curvas de permanência e de regularização para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante da cidade de Volta Redonda, a partir de um modelo digital de elevação hidrologicamente consistente (MDEHC), utilizado para automatizar o processo de determinação das características físicas das bacias de drenagem associadas aos diferentes locais de interesse. Como principais resultados pode-se destacar que a área de drenagem caracterizou-se como a variável mais expressiva para a explicação da vazão específica máxima e vazão média de longo período, para todas as regiões hidrologicamente homogêneas e a área de drenagem e o comprimento do rio principal foram as variáveis que melhor representaram a vazão mínima.

Euclides et al (2004) apresentaram estudos de regionalização de vazões máximas, mínimas, curvas de permanência e curvas de regularização para o Rio Grande, afluente do rio Paraná em Minas Gerais. Respeitando os limites das regiões hidrologicamente homogêneas, foi possível determinar funções regionais para estimar vazões específicas mínimas de sete dias de duração, associadas aos diferentes períodos de retorno. Foi possível determinar ainda

vazões médias de longo período, vazões com permanência de 50% e 95% e volumes para regularização, com bons valores de correlação.

Reis et al (2005) apresentou estudo sobre a redução das incertezas em quantis de cheia na bacia do Rio Ilinois (EUA), através do uso de parâmetros de forma regional, onde modelos de regressão regional, baseados em características climáticas e fisiográficas das bacias, forneciam estimativas regionais de  $k$  da distribuição de valores extremos generalizados (GEV) e suas respectivas incertezas, utilizadas para definir uma distribuição priori regional de  $k$  que são incluídas na análise de frequência através do método da verossimilhança generalizada (GML). Os autores concluíram que esses procedimentos reduziam significativamente as incertezas dos quantis de cheia, em especial daqueles com baixa probabilidade de excedência, mesmo em séries históricas longas.

Crispim (2005) apresentou estudos de regionalização de vazões máximas, médias e mínimas na região do Alto rio Piranhas/PB, onde as séries de longo período foram simuladas com o modelo distribuído NAVMO e suas consistências e homogeneidades foram verificadas com testes paramétricos e não paramétricos. A autora utilizou a regionalização baseada em distribuições de probabilidade, investigadas com o teste de Kolmogorov-Smirnov, e aplicou análises de correlação e regressão simples e múltipla para determinar as funções regionais. A autora chegou às conclusões que os dados simulados com o modelo NAVMO eram consistentes e homogêneos, a distribuição regional para área de estudo foi a Pearson tipo III, e que as funções dos tipos logarítmicas e potencias apresentaram resultados com boas correlações entre as variáveis hidrológicas e as características físicas e climáticas da bacia.

Nunes (2005) apresentou um estudo de regionalização hidrológica, baseado em séries de vazões de longo período, simuladas com o modelo distribuído NAVMO na região do Alto rio Paraíba/PB. Foram aplicados testes paramétricos e não paramétricos para averiguar a homogeneidade das séries simuladas, assim como distribuições de probabilidade testadas com o teste de Kolmogorov-Smirnov para determinar a distribuição regional. Logo após, foi aplicada uma análise de correlação e regressão simples e múltipla para determinar as funções que relacionavam as variáveis hidrológicas da região e suas características físicas e climáticas. A autora concluiu que, de um modo geral, as séries simuladas apresentavam boa consistência e homogeneidade, a distribuição regionalmente aceita foi a Gama, as variáveis hidrológicas foram melhores explicadas pela área da bacia, no caso da regressão simples, e pela área da bacia e o comprimento do rio principal, no caso da regressão múltipla, e que a inserção de outras variáveis (e.g., declividade da bacia, densidade de drenagem e precipitações) nas

equações melhorou os resultados em termos do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), mas não significativamente.

## 2.5 – Análise de Homogeneidade e Consistência

Em estudos de regionalização é imprescindível verificar a homogeneidade e consistência das séries, sendo um fundamento estatístico importante. Existem diversos testes estatísticos para este fim. Dentre os diversos testes estatísticos usados para investigar não-homogeneidade e possível inconsistência destacam-se: o teste de homogeneidade regional, (Schulz, 1973), os testes paramétricos t de Student, para a média, e F de Snedecor (Fonseca et al, 1978), para a variância, o teste não paramétrico de Wilconxon (Koch & Rego, 1985) e as distribuições de probabilidade que representem o universo do qual os dados são pertencentes, sendo as mais usuais a distribuição de Gauss ou Normal, Gama, Gumbel e Person III. As distribuições Gama, Gumbel, Pearson III e a log-Normal são testadas com base em dados de valores extremos (Kite, 1977). Já a distribuição Normal tem sido investigada com dados de valores médios (Kite, 1977).

### 2.5.1 – Testes Paramétricos

#### I - Teste de Identidade das Médias (Student)

Nesse teste é necessário dividir a série em dois períodos, um anterior e outro posterior a mudança, com tamanhos  $n_1$  e  $n_2$  e médias  $\bar{x}_1$  e  $\bar{x}_2$  (Koch & Rego, 1985). O critério comumente usado é de separar a amostra pelo máximo valor observado, como pode ser visto na Figura 2.1 para Acauã, onde é possível observar que o valor máximo ocorreu no ano de 1961. O teste de Student (t) é utilizado para examinar a média e é feito a partir da aplicação da Equação 2.15 que define a variável  $t_{teste}$  e depende de uma estimativa do desvio padrão de todo o período de dados (equação 2.16). O teste será rejeitado quando o valor  $t_{teste}$  cair fora do intervalo  $[-t_{\alpha/2;n_1 + n_2-2}; t_{\alpha/2;n_2 + n_2-2}]$  estabelecidos pela distribuição t de Student.

$$t_{teste} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s \cdot \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.15)$$

onde:



$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N_1} (x_i - \bar{x}_1)^2 + \sum_{j=1}^{N_2} (x_j - \bar{x}_2)^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (2.16)$$

e  $\alpha$  é o nível de significância,  $x_i$ ,  $x_j$  são os dados da amostra.

Os valores de t críticos ( $t_{\alpha/2; N_1 + N_2 - 2}$ ) são obtidos nas tabelas de distribuição de Student (ver Fonseca et al., 1978), em função do número de dados da série (n), do nível de significância ( $\alpha$ ) e grau de liberdade (v) que é calculado através da Equação 2.17 abaixo:

$$v = \frac{1}{\frac{k^2}{n_1 - 1} + \frac{(1-k)^2}{n_2 - 1}} \quad (2.17)$$

onde k é dado em termos das variâncias das partes  $s_1^2$  e  $s_2^2$  pela equação:

$$k = \frac{n_2 \cdot s_1^2}{n_2 \cdot s_1^2 + n_1 \cdot s_2^2} \quad (2.18)$$

Caso o teste de Snedecor (F) venha a ser rejeitado, o valor de  $t_{teste}$  é calculado por meio da seguinte equação 2.19 abaixo:

$$t_{teste} = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\sqrt{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)}} \quad (2.19)$$

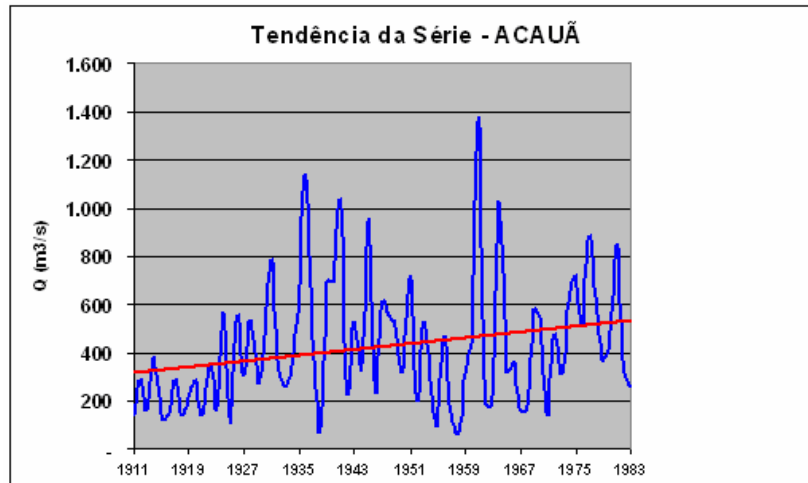


Figura 2.1 – Série anual de vazões máximas simuladas em Acauã

## II – Teste de Identidade das Variâncias (Snedecor)

Nesse teste também é necessário dividir a série em dois períodos, utilizando o mesmo critério usado no teste de Student. O primeiro com uma série de tamanho  $n_1$  e variância  $s_1^2$  formado pelos valores observados anteriormente a mudança e o segundo de tamanho  $n_2$  e

variância  $s_2^2$  formada pelos valores observados posteriormente a mudança. O teste de Snedecor (F) é utilizado para análise da variância do conjunto de dados que é determinada pela Equação 2.20. O valor calculado de  $F_{teste}$  é comparado com um valor crítico (tabelado) dado pela distribuição de Snedecor. Se  $F_{teste} > F_{crítico}$  a hipótese de identidade entre as variâncias é rejeitada para um erro assumido de acordo com o nível de significância ( $\alpha$ ) adotado, onde  $F_{teste}$  é dado pela Equação 2.21 descrita abaixo:

$$s_{ij}^2 = \frac{\sum (x_{ij} - \bar{x}_{ij})^2}{n-1} \quad (2.20)$$

$$F_{teste} = \frac{s_1^2}{s_2^2} \quad s_1^2 > s_2^2 \quad (2.21)$$

### 2.5.2 – Teste não-paramétrico de Wilcoxon

Segundo Koch & Rego (1985) e Costa Neto (1983), o teste de Wilcoxon investiga a identidade entre as populações das amostras com respeito à distribuição de probabilidade e a tendência central (hipótese nula  $H_0$ ). O teste utiliza a variável de teste conforme a Equação 2.22 abaixo:

$$z_{teste} = \frac{|u - \frac{n_1 \cdot n_2}{2}|}{\sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}}} \quad (2.22)$$

onde  $u$  é o menor valor entre  $u_1$  e  $u_2$  que são dados por:

$$u_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1 (n_1 + 1)}{2} - T_1 \quad (2.23)$$

$$u_2 = n_1 n_2 + \frac{n_2 (n_2 + 1)}{2} - T_2 \quad (2.24)$$

sendo  $n_1$  e  $n_2$  os tamanhos das duas amostras e  $T_1$  e  $T_2$  as respectivas somas dos dados das partes da série investigada. O teste será rejeitado quando o valor  $z_{teste}$  cair fora do seguinte intervalo  $[-z; +z]$  estabelecidos pela distribuição normal.

### 2.5.3 – Teste de Dupla Massa para Vazões Máximas e Vazões Médias

O teste de dupla massa (Schulz, 1973), tem sido utilizado para avaliação da homogeneidade de séries anuais (Nunes, 2005; Crispim, 2005 e Batista 2006). O teste pressupõe que a série é homogênea, ou não apresenta não-homogeneidades do tipo tendência,

salto, periodicidade, etc., ou seja, é aleatória, quando os valores acumulados seguem uma linha reta quando colocados graficamente em y com os valores médios acumulados da região em x.

#### 2.5.4 – Distribuição de Probabilidade

Segundo Catalunha (2002), o uso de funções densidade de probabilidade está diretamente ligado à natureza dos dados e a sua gênese ( e.g, máximo, mínimo, médio, etc.) que ela se relaciona. A seleção da melhor distribuição de probabilidade a ser adotada é comumente baseada em resultados de análise de freqüência dos dados amostrais e de testes de hipóteses, admitindo-se o nível de significância ( $\alpha$ ) desejado e, em conseqüência o de confiança ( $\beta$ ), ou erros do tipo I e II, ou seja, o erro  $\alpha$  de rejeitar a hipótese nula quando esta é verdadeira e o erro ( $\beta=1-\alpha$ ) de não rejeitar a hipótese nula quando esta é falsa (Bussab e Morettin, 2004). Estes testes de hipóteses são analisados a partir dos testes de aderência, sendo o teste de Kolmogorov-Smirnov o mais indicado (Koch e Rego, 1985).

##### 2.5.4.1 – Distribuição Normal

Uma variável aleatória é dita normalmente distribuída quando sua função densidade de probabilidade  $f(x)$  tem a seguinte forma:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad -\infty < x < \infty \quad (2.29)$$

onde  $\mu$  e  $\sigma$  representam a média e o desvio padrão da população.

A distribuição normal não apresenta assimetria e tem a seguinte função de distribuição de probabilidade cumulativa:

$$P(X \leq x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (2.30)$$

onde X representa o valor da variável, sendo x um valor real qualquer de referência e  $P(X \leq x)$  a probabilidade de X não exceder x.

### 2.5.4.2 – Distribuição Log –Normal

Para a distribuição log-normal, consideram-se os valores logaritimizadas da variável  $x$ , de modo que  $f(x)$  tem forma dada pela Equação 2.31 abaixo:

$$f(x) = \frac{1}{x \cdot \sigma_n \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\left(\frac{\ln(x) - \mu_n}{2\sigma_n}\right)^2} \quad (2.31)$$

A distribuição log-normal tem a função de distribuição de probabilidade cumulativa dada pela Equação 2.32 abaixo:

$$P(X \leq x) = \frac{1}{x \cdot \sigma_n \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\left(\frac{\ln(x) - \mu_n}{2\sigma_n}\right)^2} dx \quad (2.32)$$

onde:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum [\ln(x_i)] \quad (2.33)$$

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum (\ln x_i - \mu)^2}{n - 1} \quad (2.34)$$

### 2.5.4.3 – Distribuição Pearson III

A função de distribuição de Pearson III é dada por (Kite, 1977):

$$f(x) = \frac{1}{\alpha \cdot \Gamma(\beta)} \cdot \left(\frac{x - \gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{x - \gamma}{\alpha}\right)} \quad (2.35)$$

onde  $\Gamma()$  é a função gamma e  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  são os parâmetros da distribuição de Pearson III, que são determinados pelo método dos momentos, através das seguintes equações:

$$\beta = \left(\frac{2}{\gamma_1}\right)^2 \quad (2.36)$$

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{\beta}} \quad (2.37)$$

$$\gamma = \mu - \sigma \cdot \sqrt{\beta} \quad (2.38)$$

onde  $\mu$  e  $\sigma$  são a média e o desvio padrão da população (estimados com base nos dados amostrais)

$$\gamma_1 = (\mu_3 / \mu_2^{3/2}) \cdot \sqrt{N(N-1)} \cdot (1 + 8,5/N) / N - 2 \quad (2.39)$$

onde  $\gamma_1$  é o coeficiente de assimetria corrigido para a tendência, e:

$$\mu_3 = \sum [(x_i - \bar{x})^3 / N] \quad (2.40)$$

$$\mu_2 = \sum [(x_i - \bar{x})^2 / N] \quad (2.41)$$

onde  $\mu_3$  e  $\mu_2$  são os momentos de terceira e segunda ordem centrados na média, respectivamente, e N o número de dados.

Kite (1977) apresenta uma forma simplificada para solução da distribuição de Pearson III relacionando a variável normal reduzida (t) com os parâmetros da distribuição de Pearson III pela Equação (2.42) a seguir:

$$t \approx \left[ \sqrt[3]{\frac{x - \gamma}{\alpha\beta} + \frac{1}{9\beta} - 1} \right] \cdot \sqrt{9\beta} \quad (2.42)$$

com a distribuição normal reduzida dada por:

$$P(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dx \quad (2.43)$$

A distribuição de Pearson III apresenta três parâmetros podendo ser aplicada em dados de quaisquer naturezas, haja vista que a assimetria pode assumir valores negativos, positivos ou nulos. Particularmente quando a assimetria é nula, a distribuição de Pearson III é idêntica a distribuição Normal, Chow (1964).

#### 2.5.4.4 – Distribuição Gama

Esta distribuição se assemelha a Pearson III. Sua distribuição é assimétrica e utiliza três parâmetros que são: média, desvio padrão e coeficiente de assimetria. A distribuição Gama torna-se um caso particular da distribuição de Pearson III quando o coeficiente de assimetria é igual a duas vezes o coeficiente de variação (Lanna, 2001), i.e,  $\gamma_1 = 2\sigma/\mu$  (com  $\sigma$  e  $\mu$  estimados pelos dados amostrais). A função de distribuição acumulada da distribuição Gama é dada por (Kite, 1977) descrita abaixo:

$$P(X \leq x) = \frac{1}{\alpha^\beta \cdot \Gamma(\beta)} \cdot x^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)} \quad (2.44)$$

onde  $\Gamma()$  é a função gamma,  $\alpha$  é o parâmetros de escala e  $\beta$  é o parâmetro de forma da distribuição Gama, que foram determinados pelo método dos momentos, através das Equações 2.45 e 2.46 abaixo descritas.

$$\beta = \left( \frac{2}{\gamma_1} \right)^2 \quad (2.45)$$

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{\beta}} \quad (2.46)$$

onde  $\sigma$  é o desvio padrão e  $\gamma_1$  é o coeficiente de assimetria.

#### 2.5.4.5 – Distribuição Gumbel

A função extremal tipo I ou de Gumbel e a função de distribuição acumulada são dadas pelas equações abaixo (Kite, 1977).

$$f(x) = \alpha \cdot \exp\{-\alpha \cdot (x - \beta) - \exp[-\alpha \cdot (x - \beta)]\} \quad (2.47)$$

$$P(X \leq x) = \alpha \cdot \int_{-\infty}^x \exp\{-\alpha \cdot (x - \beta) - \exp[-\alpha \cdot (x - \beta)]\} \cdot dx \quad (2.48)$$

ou

$$P(X \leq x) = \exp\{-\exp[-\alpha \cdot (x - \beta)]\} \quad (2.49)$$

onde  $X$  representa a variável aleatória, sendo  $x$  um valor real qualquer para uma probabilidade  $P(X \leq x)$  de não ocorrência do evento  $X$ ,  $\alpha$  e  $\beta$  são parâmetros da distribuição e que podem ser determinados pelo método dos momentos, através das equações abaixo:

$$\alpha = \frac{1,2825}{\sigma} \quad (2.50)$$

$$\beta = \mu - 0,45 \cdot \sigma \quad (2.51)$$

#### 2.5.5 – Teste de Kolmogorov-Smirnov

O teste de Kolmogorov-Smirnov, popularmente teste K-S, é o teste de aderência mais utilizado na seleção de distribuição. O teste consiste basicamente em comparar as probabilidades estimadas com a distribuição de probabilidade  $P(X \leq x)$  com a frequência dos dados amostrais  $F(X \leq x)$ . A variável de teste ( $D_t$ ), definida como a maior diferença, em modulo, entre  $P(X \leq x)$  e  $F(X \leq x)$ , é comparada com a variável crítica ( $D_{c,n,\alpha}$ ) que depende do número de dados ( $n$ ), do nível de significância e da distribuição. Caso  $D_t < D_{c, \alpha, n}$  a

distribuição é aceita ao nível de significância  $\alpha$  que geralmente é tomado entre os valores de 1% e 5% (Koch & Rego, 1985).

## **2.6 – Modelos Hidrológicos**

### **2.6.1 – Introdução**

A bacia hidrográfica é a unidade onde ocorrem os processos hidrológicos, os quais podem ser representados por modelos hidrológicos. Atualmente, diversos estudos utilizam-se de modelos hidrológicos para a modelagem dos processos hidrológicos numa bacia hidrográfica (Tucci, 1998).

A modelagem tem várias finalidades como a compreensão de processos e sua relação com a escala e uso do solo, geração de séries, auxiliando assim em diversos estudos (e.g, simulação hidrológica, regionalização hidrológica, dimensionamento de sistemas hidráulicos, etc.).

Tucci (1998) enumerou cinco pontos que levam a se utilizar os modelos para analisar os processos hidrológicos, são: uma análise do sistema real (quando possível) é mais cara; o custo de cometer erros e/ou realizar experiências com o sistema real é incomparavelmente maior; os processos de tentativa e erro podem ser explorados “gratuitamente” e contribuem para a melhor compreensão do sistema e para concepção de novas idéias e linhas de ação; os modelos são instrumentos muito eficientes para treinamento quando desenvolvidos ou adaptados especificamente para esta finalidade; e esses conferem flexibilidade às análises. Porém os modelos também têm limitações, entre elas está a possibilidade de expressar os processos como um conjunto de equações matemáticas detalhadas, o que nem sempre é possível devido a complexidade em alguns casos ou pelo fato de simplesmente não existir relação matemática para explicar o processo (Steyaert, 1993).

No âmbito da hidrologia, modelar deve ser entendido como a representação de um sistema (hidrológico), que busca representar no todo ou em partes o comportamento de um processo hidrológico ou conjunto de processos, em um dado instante ou intervalo de tempo (Tucci, 1998).

## **2.6.2 – Modelos Hidrológicos: Classificação e Tipos**

Os modelos podem ser classificados sob diferentes aspectos. Comumente, os modelos são classificados, dentre outras formas (Rennó & Soares, 2003), de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), o tipo de relações entre essas variáveis (empíricos ou conceituais), a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), a existência ou não de relações espaciais (concentrados ou distribuídos), e a existência de dependência temporal (estacionários ou dinâmicos).

Entre os diversos tipos de modelos, existem aqueles que são representados por um conjunto de equações ou expressões matemáticas e argumentos lógicos (modelos matemáticos). Segundo Tucci (1998) esses modelos apresentam como vantagem a versatilidade devido à facilidade de modificar a sua lógica de modo a obter resultados de diferentes situações de um mesmo sistema ou de diferentes sistemas. Outro tipo de modelo é o físico que nada mais é que uma representação de um protótipo em escala, projetado com base na semelhança geométrica, cinemática e dinâmica entre o sistema e o protótipo. Existem também os chamados modelos analógicos que se valem da analogia das equações que regem diferentes fenômenos para modelar, no sistema mais conveniente, o fenômeno mais complexo.

### **2.6.2.1 – Modelos Distribuídos**

Os modelos distribuídos consideram a variabilidade espacial encontrada nas diversas variáveis que o constituí (Tucci, 1998). De maneira geral, alguma discretização do espaço é feita e, conseqüentemente, cada elemento pode ser tratado como um ponto que representa homogeneamente toda sua área. Modelos distribuídos mais realistas consideram também a existência de relação espacial entre elementos vizinhos.

São vários os fatores que limitam o conhecimento dos processos hidrológicos, sendo a variabilidade e a escassez de dados os principais. Existem alguns problemas na hidrologia que apresentam processos físicos conhecidos, e descrição matemática relativamente simples. Como é o caso da propagação de ondas de cheias em rios e canais, que podem ser simuladas através de modelos matemáticos hidrodinâmicos, onde o escoamento é representado por equações diferenciais, esses modelos são os chamados modelos distribuídos de base física.



Uma grande vantagem dos modelos de base física se dá no fato de seus parâmetros ou constantes poderem ser estimados, dadas às características do sistema hidrológico que se deseja representar, ou ainda podem ser medidos de forma independente (Collischonn, 2001).

Quando há problemas com relação à compreensão teórica, ou quando existe a dificuldade de se obter dados, os modelos de base física têm sido substituídos pelos modelos conceituais. Esses mantêm uma base conceitual, mas contém alguns parâmetros que não podem ser medidos diretamente em um experimento no sistema hidrológico exigindo, portanto, uma etapa de calibração (Collischonn, 2001).

Os modelos conceituais estão baseados em representações matemáticas simplificadas dos processos físicos, mas quando não existe uma teoria aceitável para a representação do processo hidrológico ou ainda quando essa teoria é boa, mas inaplicável, com os dados e as ferramentas disponíveis para manipulá-los faz-se o uso de modelos estatísticos, que são modelos que buscam relacionar causas e efeitos sem considerar o processo interno de transformação.

Modelos hidrológicos distribuídos são aqueles que levam em consideração a distribuição espacial de algumas variáveis. Neste sentido é impossível dissociar os modelos distribuídos dos modelos hidrológicos de base física. É necessário, pelo menos um pouco de base física, para justificar a consideração de características distribuídas (Collischonn, 2001).

### **2.6.3 – Procedimentos para Utilização de Modelos Hidrológicos**

A utilização de um modelo é dividida em geral em três etapas:

- Estimativa ou calibração dos parâmetros do modelo;
- Verificação ou validação;
- Previsão das variáveis do modelo.

Uma das fases da simulação é a calibração dos parâmetros que devem ser determinados segundo um ajuste para que os dados de saída do modelo (dados simulados) representem bem os dados observados das variáveis as quais estão sendo simuladas. Segundo Diniz (1994) e Sorooshian e Gupta (1995) existem dois tipos de calibração:

- Manual;
- Automática.

A calibração manual tem por base o processo de tentativa e erro, aquele em que o modelador manipula os parâmetros até encontrar as melhores respostas, ganhando uma grande sensibilidade sobre o sistema; entretanto, esse tipo de calibração se torna extremamente

exaustiva, tanto para modeladores inexperientes como para experientes. Já na calibração automática, perde-se um pouco desta sensibilidade, mas se ganha no processo de geração de resultados, já que ela é realizada por funções ou algoritmos pré-definidos que dão maior rapidez e agilidade ao processo de busca de respostas. Tucci (1998) apresenta classificações mais detalhadas de tipos de calibração e as coloca como métodos tradicionais de determinação de parâmetros. Entre elas estão:

- Medida direta: consiste na obtenção dos valores diretamente em campo, mapas, etc;
- Amostragem: quando o valor é uma amostra representativa e é aplicada sobre todo o sistema;
- Ajuste por tentativa e erro: com as variáveis de entrada e saída em mãos, busca-se o melhor ajuste dos hidrogramas, a partir dos parâmetros;
- Ajuste por otimização: quando se busca o melhor grupo de parâmetros através de funções-objetivo que, por métodos matemáticos, automaticamente busca a menor diferença entre os dados observados e simulados.

A validação do modelo consiste na simulação, tomando-se como base os parâmetros previamente calibrados e uma outra série de dados observados na mesma bacia. Entre os diferentes métodos de validação, pode-se citar a divisão de dados, uso de duas ou mais bacias, etc. (Klemes, 1986; Ewen e Parkin, 1996; Figueiredo, 1999; Braga, 2001).

A previsão é a simulação do sistema pelo modelo com os parâmetros ajustados, visando se obter respostas para as diferentes entradas. Um modelo só é confiável quando suas suposições, entradas e parâmetros, estimam os melhores resultados (Sorooshian & Gupta, 1995). O modelo escolhido deve se adequar ao tipo de estudo, as necessidades do modelador e a bacia em estudo, para que seja possível obter bons resultados para a região estudada (Tucci, 1998).

#### **2.6.4 – Pesquisas Recentes Utilizando Modelos Distribuídos**

Barbasa et al (2005) desenvolveram um trabalho de aprimoramento de um modelo hidrológico urbano distribuído (MHUD II), que é um modelo cujos dados de entradas são baseados em arquivos de dados vetoriais, capturados e inter-relacionados por meio de um sistema de informação geográfica (SIG). Os dados de entrada do modelo são organizados segundo a lógica de geração do escoamento, onde para isto foi desenvolvido um programa específico. O modelo foi aplicado às bacias do Gregório e Monjolinho da cidade de São

Carlos – SP. Os resultados das calibrações foram satisfatórios em termos de ajustes medidos através de várias medidas e também visualmente.

Samper et al (2005) apresentaram um estudo com a aplicação do modelo VISUAL BALAN V2.0 em duas bacias na Espanha. O VISUAL BALAN V2.0 é um modelo que resolve as equações de balanço no solo edáfico, na zona não-saturada e no aquífero calculando, de forma sequencial, os componentes hidrológicos com resultados diários. Neste estudo são as aplicações do modelo para a estimação do balanço hídrico da bacia experimental de Valinas e da lagoa de Gallocanta. Onde a primeira bacia é pequena e homogênea enquanto que a bacia de Gallocanta tem dimensões maiores e grande variabilidade espacial dos parâmetros. Para o estudo destas bacias complexas foi desenvolvido o modelo GIS BALAN, trata-se de um modelo hidrológico distribuído acoplado ao sistema de informação geográfica.

Sousa e Figueiredo (2005) apresentaram uma proposta de modificação do modelo concentrado MOFIPE (modelo de base física para simulação hidrossedimentológica em pequena escala) através da inclusão do processo de propagação do escoamento e variabilidades naturais do sistema da bacia (clima, solos, relevos, etc) no modelo, transformando-o num modelo distribuído de base física para simulação do escoamento e erosão do solo, denominado MODFIPE. Eles propõem também métodos alternativos para o cálculo dos processos de evapotranspiração e infiltração, bem como a inclusão da distribuição de sedimentos no processo de erosão do solo. Com verificação da eficácia do modelo anterior, demonstrada através de simulações realizadas, e implantação dos métodos alternativos.

Santos et al (2004) apresentam a aplicação de um modelo hidrológico cinemático de base física e distribuído chamado KINEROS 2 (Kinematic Runoff and Erosion Model), com o objetivo de avaliar o modelo como instrumento no gerenciamento dos recursos hídricos na bacia do rio Pirapama. Os parâmetros de condutividade hidráulica ( $K_s$ ) e o coeficiente de Manning ( $n$ ) dos planos e dos canais foram ajustados para que os hidrogramas calculados coincidisse com os observados. Os resultados da pesquisa podem ser considerados promissores, pois o KINEROS 2 correspondeu às expectativas na caracterização dos volumes totais das vazões para os dois anos analisados.

### **2.6.5 - Pesquisas Recentes Utilizando o Modelo NAVMO**

No Brasil este modelo foi inicialmente utilizado por Figueiredo et al. (1991; 1993) na simulação do escoamento na bacia de Piancó e em um estudo das prováveis causas da

diminuição do volume de armazenamento do açude público de Sumé, o qual capta água da bacia hidrográfica do Rio Sucurú (748,6 Km<sup>2</sup>) na Paraíba.

Na literatura outras aplicações deste modelo podem ser encontradas, como o trabalho realizado por Lopes (1994), que calibrou e validou o modelo NAVMO para avaliar o escoamento na bacia do rio Piancó (4.550 km<sup>2</sup>), encontrando bons resultados. Figueiredo e Srinivasan (1999) avaliaram os impactos do uso do solo e da presença dos açudes sobre o escoamento superficial a montante do açude público de Sumé.

Braga (2001) estudou os efeitos de fatores climáticos e do uso do solo sobre o escoamento através de aplicações do modelo NAVMO à bacia do alto rio Piranhas concluindo que estes fatores afetam diretamente a formação do escoamento nas bacias da região. Figueiredo e Braga (2002) discutiram e apresentaram a calibração e os resultados da validação dos parâmetros mais sensíveis do modelo para aquela bacia. Lacerda Júnior (2002) utilizou este modelo para fazer uma avaliação dos efeitos de escala e uso do solo na parametrização do mesmo com dados de bacias do Cariri paraibano, concluindo que os parâmetros mais sensíveis do modelo sofrem variação quando aumenta o tamanho da bacia.

Fortunato (2004) também fez a apresentação da calibração e validação do NAVMO para a Região do alto rio Paraíba – PB e fez diferentes simulações para avaliar os efeitos da variabilidade climática e do uso do solo conforme vários cenários e concluiu que a precipitação é a variável climática que mais afeta o escoamento.

Posteriormente Fortunato et al. (2005), realizaram estudos na região do alto rio Paraíba com o modelo distribuído NAVMO e mostraram que os valores dos parâmetros relacionados ao escoamento diminuíram de maneira não linear à medida que a área da bacia aumentou, enquanto que os valores do parâmetro relativo a evapotranspiração aumentaram linearmente com o aumento da área, mas todos variaram com a precipitação anual. Fortunato et al. (2005) avaliaram o efeito de escala e a variabilidade climática sobre os parâmetros do modelo para várias sub-bacias, a partir de dados disponíveis, e observaram que o parâmetro ALFA (escoamento superficial) diminuiu com o aumento da área da bacia e do índice pluviométrico. O parâmetro da evapotranspiração, EET, apresentou um aumento gradual com a escala da bacia, mas diminuiu nos anos úmidos. O parâmetro CN que define a capacidade de armazenamento do solo foi menor nas áreas maiores e nos anos secos.

Figueiredo et al. (2004) analisaram o escoamento simulado com modelo distribuído NAVMO, calibrado em uma grande bacia na região semi-árida da Paraíba e concluíram que a divisão da bacia influenciou as vazões máximas e volumes, onde a soma do quadrado das diferenças, entre valores simulados e observados foi o critério utilizado.

Crispim (2005) empregou técnicas de regionalização para estabelecer funções matemáticas que auxiliem a determinação de vazões máximas, vazões médias e vazões com 95% de garantia. Para isso, utilizou séries simuladas com o modelo NAVMO, em nove sub-bacias da região do alto rio Piranhas – PB, e concluiu que, em geral, as equações lineares representaram melhor as variáveis se comparadas as equações potenciais e que as variáveis físicas que melhor explicam as variáveis hidrológicas foram: a área da bacia e o comprimento do rio principal. Crispim et al. (2005a) aplicaram os testes não paramétricos para verificar a homogeneidade em séries de longo período simuladas com o modelo distribuído NAVMO na região do alto rio Piranhas, e mostraram que as séries apresentaram razoável consistência e homogeneidade. Crispim et al. (2005b) afirmaram que séries simuladas na região do alto rio Piranhas – PB apresentaram boa consistência e homogeneidade, e que a distribuição de Pearson III foi aceita regionalmente sem restrições. Correlações tanto logarítmicas quanto a potenciais mostraram bons resultados com fortes correlações entre as variáveis hidrológicas e as características das bacias.

Para superar o problema das séries hidrológicas observadas serem pequenas e/ou descontínuas, Nunes (2005) e Nunes et al. (2005a) utilizaram o modelo distribuído NAVMO para simular séries de vazões de longo período em nove bacias da região do alto Rio Paraíba – PB, quatro com dados e mais cinco sem dados e averiguou a homogeneidade das séries com o teste de dupla massa. Os resultados mostraram que o modelo simula razoavelmente bem o escoamento da bacia e que as séries simuladas mostraram-se consistentes e homogêneas. Nunes et al. (2005b) aplicaram testes paramétricos e não paramétricos às séries de vazões de longo período simuladas como o NAVMO, e testaram algumas distribuições de probabilidade, e concluíram que, de um modo geral, as séries simuladas apresentaram boa consistência e homogeneidade e a distribuição Gama foi aceita pelo teste K-S sem restrições.

Nunes et al (2005b) apresentaram a regionalização na região do alto rio Paraíba, utilizando dados simulados com o modelo NAVMO e com parâmetros médios determinados na calibração de Furtunato (2004), porém distribuídos com uma abordagem própria, e com as sub-bacias simuladas conjuntamente. E de acordo com as análises de correlação e regressão feitas entre as variáveis hidrológicas e as características físicas e climáticas das bacias, a autora concluiu que as variáveis investigadas foram melhores explicadas pela área da bacia (regressão simples) e pela área da bacia e o comprimento do rio principal (regressão múltipla).

Batista (2006) realizou uma pesquisa que buscou analisar incertezas na modelagem da região do alto rio Paraíba (12.337km<sup>2</sup>), localizada no cariri paraibano, um aspecto até então não estudado em escala regional com o modelo distribuído NAVMO. O modelo foi calibrado

e validado para a região e depois diferentes simulações do escoamento foram realizadas, para várias divisões da bacia e bancos de dados com diferentes postos pluviométricos e concluiu que as simulações são sensíveis aos dados de precipitação, ao número de divisões da bacia e a parametrização do modelo e que as incertezas aumentam à medida que diminui o número de divisões da região.

Lima (2008) realizou à modelagem do escoamento nas bacias do Baixo Paraíba e Mamanguape, utilizando o modelo distribuído NAVMO, para dar subsídios a futuros estudos de regionalização hidrológica em toda bacia, com resultados que mostram que o modelo foi calibrado razoavelmente bem para as poucas bacias com dados, apresentado valores aceitáveis de coeficientes de determinação para as calibrações de vazões máximas anuais e para o volume total anual.

Costa (2008) realizou uma pesquisa que tinha como objetivo a utilização do modelo distribuído NAVMO para modelagem do sistema Piranhas-Açu, tendo sido calibrado para as vazões máximas e volumes anuais por tentativa e erro e depois verificado a sua validade por diferentes critérios, apresentando valores aceitáveis de coeficiente de determinação na calibração tanto para vazões máximas quando para volumes anuais. Já com relação à validação, os valores dos coeficientes de determinação, em geral, foram menores que os encontrados para a calibração, porém os resultados gráficos ou hidrogramas foram satisfatórios.

## CAPÍTULO 3

### 3.0 – O MODELO NAVMO

#### 3.1 – Características Gerais do Modelo NAVMO

O modelo NAVMO “Niederschlag, Abfluss, Verdunstungs Modell” (modelo de precipitação, vazão, evaporação), foi desenvolvido no Instituto de Recursos Hídricos da Universidade de Monique de Bundeswehr, Munique, Alemanha, para simular o escoamento na bacia hidrográfica considerando as variabilidades tanto de fatores climáticos (evaporação e precipitação) quanto do sistema da bacia (Kleeberg et al., 1989).

O NAVMO é um modelo diário, determinístico, conceitual e distribuído, que simula os escoamentos (superficial, sub-superficial e subterrâneo) por meio de dois reservatórios hipotéticos, um superficial e outro sub-superficial, e uma função de recessão, para a representação do escoamento subterrâneo (Batista, 2006). Para avaliar a capacidade de armazenamento de água nos reservatórios, os quais são dependentes do tipo e das condições de uso do solo, é utilizado o método da curva número (CN) desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos – SCS (McCuen, 1982). Este modelo considera a área da bacia hidrográfica dividida em sub-bacias, podendo-se assim definir para cada sub-bacia as características climáticas e fisiográficas. Cada sub-bacia requer um valor da curva número (CN), definido pelo tipo e usos do solo na bacia hidrográfica. Assim é possível considerar alterações naturais e antropogênicas, atribuindo valores da curva número (CN) que são ponderados em relação à área de cada tipo de uso de solo na bacia, para a avaliação das suas influências sobre o escoamento simulado na bacia hidrográfica (Crispim, 2005). O fluxograma do modelo é visto na Figura 3.1

O modelo possui algoritmos alternativos para solução dos seguintes processos hidrológicos:

- Precipitação;
- Escoamento;
- Propagação do escoamento nos trechos de rios e;

O cálculo da precipitação média no modelo NAVMO pode ser feito através da aplicação de duas metodologias, que são versões modificadas do método de Thiessen e do método do Ponto Reticular ou método das Quadrículas (Kleeberg et al., 1989).

As lâminas dos escoamentos no modelo NAVMO são determinadas individualmente para cada sub-bacia, considerando um sistema de reservatórios conforme apresentado na figura 3.2, para os quais o balanço hídrico é realizado. O escoamento superficial é calculado a partir do reservatório superficial, que é abastecido pela precipitação e sobre ele age a evaporação potencial. Quando o reservatório superior enche, ocorre o transbordamento. Parte da lâmina do transbordamento do reservatório superficial irá abastecer o reservatório sub-superficial e outra parte será transformada no escoamento direto após aplicação de uma função de transformação. O escoamento sub-superficial é calculado a partir do reservatório sub-superficial que é alimentado por uma parte do transbordamento do reservatório superficial. Quando esta parcela é suficiente para encher o reservatório sub-superficial ocorre o transbordamento, o qual se dividirá em duas lâminas. Uma usada no cálculo do escoamento subterrâneo e a outra no escoamento sub-superficial após a aplicação de funções de transformação. Os hidrogramas em cada caso são obtidos através de funções de transformação e adicionados para que seja obtido o hidrograma total. A evaporação do reservatório sub-superficial é calculada em função do seu déficit de umidade.

A propagação do escoamento pode ser feita utilizando diferentes métodos como, por exemplo, o método de Williams (1969), o método de Kalinin-Miljukov (1958), apud Fread (1985), e o método da velocidade de fluxo.

O modelo também apresenta critérios alternativos para avaliar a qualidade dos resultados como desvio médio, desvio hidrológico, centróides dos hidrogramas, volumes e picos, além dos hidrogramas simulado e observado. São utilizados como dados de entrada no modelo NAVMO valores de precipitação, evaporação, vazões observadas e as características físicas das sub-bacias como: área, cotas, declividade e as características geométricas dos canais. Requerimentos como divisão da bacia em sub-bacias, a seqüência de geração dos escoamentos nas sub-bacias, os trechos de rios onde as vazões são propagadas, são de suma importância para a aplicação do modelo NAVMO (Lopes, 1994; Figueiredo et al. 1999).



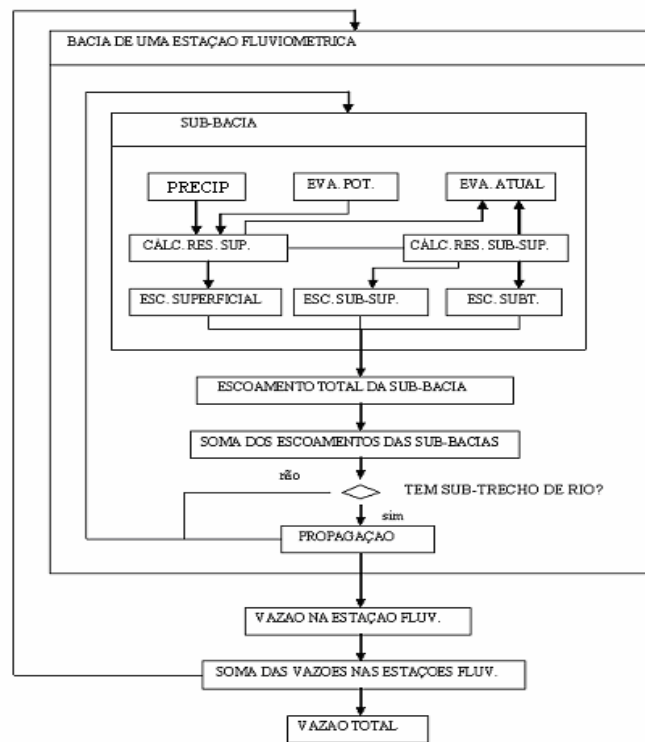


Figura 3.1 – Fluxograma do modelo NAVMO (Kleeberg et al., 1989)

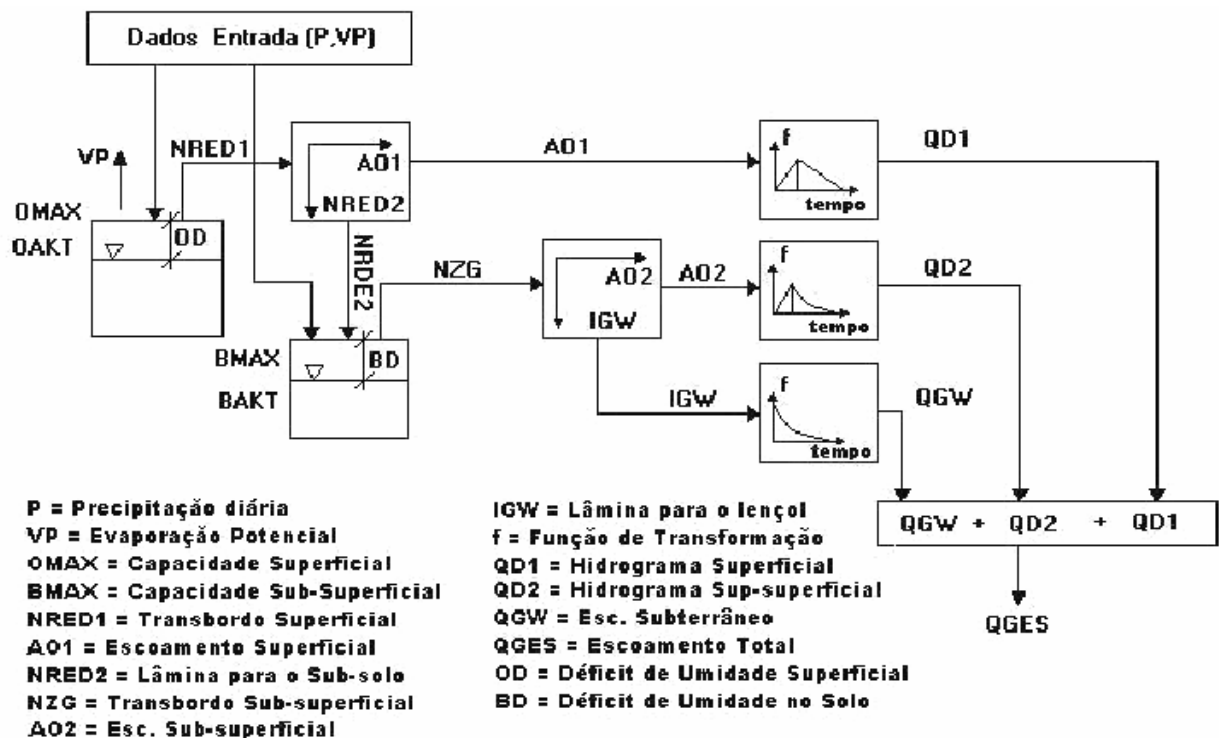


Figura 3.2 – Representação do solo e processos de precipitação-vazão-evaporação no modelo NAVMO (Kleeberg et al., 1989)

### 3.2 - Estimativa da Precipitação Média nas Sub-Bacias

O método do Ponto Reticular modificado ou Método modificado das quadriculas, calcula a precipitação utilizando os quatro postos mais próximos do centro das sub-bacias, com relação a cada quadrante. Para tanto, é utilizada a equação 3.1 para o cálculo da precipitação.

$$N_{I,t} = \frac{\sum_{S=1}^4 (N_{n,S,t} / D_S^{Rast})}{\sum_{S=1}^4 (1 / D_S^{Rast})} \quad (\text{mm}) \quad (3.1)$$

onde:

$N_{I,t}$  – Precipitação calculada para a sub-bacia I no intervalo de tempo t;

$N_{n,s,t}$  – Precipitação na estação pluviométrica n, mais próxima do centro da sub-bacia I dentro do quadrante s, no intervalo de tempo t;

$RAST$  – Fator de correção dependente da distância do posto

$D_S$  – distância do posto no quadrante s até o centro da sub-bacia.

### 3.3 - O Balanço Hídrico dos Reservatórios

A equação do balanço hídrico dos reservatórios superficial e sub-superficial é feita através da atualização da umidade, considerando que o escoamento só ocorrerá após o transbordamento dos dois reservatórios. As condições para a simulação do escoamento são mostradas a seguir (Kleeberg et al., 1989).

Para o reservatório superficial:

$$N(t) - VA(t) - OD(t-1) > 0 \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.2)$$

Para o reservatório subterrâneo:

$$N(t) - VA(t) - OD(t-1) - AO1(t) - BD(t-1) > 0 \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.3)$$

onde:

$N(t)$  – é a precipitação durante o intervalo de tempo t;

$VA(t)$  – é a evaporação durante o intervalo de tempo t;

$OD(t-1)$  – é o déficit de umidade no reservatório superficial antecedente;

$BD(t-1)$  – é o déficit de umidade no reservatório subterrâneo antecedente;

$AO1$  – é a lâmina do escoamento superficial direto.

Os déficits de umidade são:

Na superfície:

$$OD(t) = OMAX - OAKT \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.4)$$

No Solo:

$$BD(t) = BMAX - BAKT \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.5)$$

onde OAKT e BAKT são os estados de umidade inicial nos reservatórios superficial e sub-superficial respectivamente; já OMAX e BMAX são as capacidade máximas dos reservatórios superficial e sub-superficial, respectivamente.

### 3.4 - Capacidade dos Reservatórios

As capacidades do reservatório superficial e sub-superficial, OMAX e BMAX, estão associados às propriedades físicas das bacias como: solos, cobertura vegetal e relevo (Lopes, 1994). São espacialmente dependentes e não mudam com o evento de precipitação. As capacidades são determinadas pelo método da curva-número (CN) do SCS (McCuen, 1982), dado por:

$$S = 25,4 \times \left[ \left( \frac{1000}{CN} \right) - 10 \right] \quad (\text{mm}) \quad (3.6)$$

onde:

S – capacidade de armazenamento;

CN – è um número que depende das características do solo, o seu uso e das condições antecedentes de chuva.

È assumido no modelo que BMAX = S, enquanto que OMAX é uma fração de S e considera também a declividade média da sub-bacia (GEBGEF), sendo calculado pela função:

$$OMAX = 0,1 \times S \times e^{-4 \times GEBGEF} \quad (\text{mm}) \quad (3.7)$$

Só ocorrerá escoamento superficial se as condições anteriormente citadas no balanço hídrico forem satisfeitas, caso contrário não ocorrerá vazão nos reservatórios hipotéticos, ficando a água armazenada no solo aumentando, assim, a sua umidade.

Caso não ocorra precipitação, ou seja,  $N(t) = 0$ , a evaporação ocorre na taxa potencial até que a superfície esteja completamente seca e, conseqüentemente, o déficit de umidade do reservatório superficial (OD) atinja a capacidade máxima do reservatório superficial (OMAX), Assim:

$$VA = VP \quad \text{enquanto } OD < OMAX \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.8)$$

Depois que o reservatório superficial atingir o nível mínimo de umidade, ou seja, o reservatório da superfície secar, dá-se então o início da evaporação no reservatório sub-superficial, aumentando seu déficit de umidade (BD). A evaporação atual do reservatório sub-superficial é calculada multiplicando-se a evaporação potencial (VP) pelo fator de partição EET a ser calibrado no modelo. Desta forma:

Para  $OD \geq OMAX$ :

$$VA(t) = EET \times VP \times \frac{[(BMAX - BD(t-1))]}{BMAX} \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.9)$$

O déficit de umidade no solo é calculado pelas seguintes Equações:

Para:

$$VA < BAKT(t-1) \text{ e } OD(t) \geq OMAX \Rightarrow BD(t) = BD(t-1) + VA(t) \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.10)$$

Para:

$$VA > BAKT(t-1) \text{ e } OD(t) \geq OMAX \Rightarrow BD(t) = BMAX \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.11)$$

Para:

$$VA = VP \text{ e } OD(t) < OMAX \Rightarrow BD(t) = BD(t-1) \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.12)$$

O déficit do reservatório superficial é dado por:

$$OD(t) = OD(t-1) + VA(t) - N(t) \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.13)$$

O escoamento efetivo ocorrerá quando a precipitação encher completamente o reservatório superficial, ou seja,  $OD(t) = 0$ . A lâmina de transbordamento (NRED1) do reservatório superficial será dada pela equação:

$$NRED1(t) = N(t) - OD(t-1) - VA(t) \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.14)$$

Uma parte deste transbordamento produzirá a lâmina do escoamento superficial (AO1) enquanto que a lâmina complementar (NRED2) alimentará o reservatório sub-superficial conforme as Equações abaixo:

$$AO1(t) = ALFA \times NRED1(t) \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.15)$$

$$NERD2(t) = (1 - ALFA) \times NRED1 \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.16)$$

A redução do déficit de umidade do sub-solo será:

$$BD(t) = BD(t-1) - NRED2(t) \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.17)$$

Caso  $NRED2(t)$  encha o reservatório sub-superficial, isto é,  $BD(t) = 0$ , a umidade excedente (NZG) será:

$$NZG(t) = NRED2(t) - BD(t-1) \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.18)$$

A lâmina de transbordamento do reservatório sub-superficial será dividida, pelo parâmetro BETA, na lâmina do escoamento sub-superficial (AO2) e na lâmina que vai para o lençol subterrâneo (IGW), assim:

$$AO2(t) = BETA \times NZG(t) \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.19)$$

$$IGW(t) = (1 - BETA) \times NZG(t) \quad (\text{mm/dia}) \quad (3.20)$$

onde ALFA e BETA são parâmetros calibráveis do modelo.

### 3.5 - Transformação das Lâminas dos Escoamentos

O hidrograma do escoamento é determinado a partir da soma dos escoamentos superficial, sub-superficial e subterrâneo, calculados através de funções de transformação, descritas abaixo:

#### 3.5.1 – Hidrograma Superficial (QD1)

O hidrograma superficial é obtido através de duas funções lineares que transformam a lâmina do escoamento superficial (AO1) em hidrograma, uma para a subida e outra para a recessão do hidrograma. Onde as funções são:

Para a subida:

$$QD1(t + J) = \frac{2 \times J \times AO1(t) \times AE}{MET1 \times MAX1} \quad (\text{m}^3/\text{dia}) \quad (3.21)$$

Para a recessão:

$$QD1(t + J) = \frac{2 \times (MAX1 - J) \times AO1(t) \times AE}{MAX1 \times (MAX1 - MET1)} \quad (\text{m}^3/\text{dia}) \quad (3.22)$$

onde:

**AE** – área da sub-bacia;

**QD1(t+J)** – escoamento direto num intervalo de tempo t + J;

**MET1** – tempo para atingir o pico do escoamento superficial;

**MAX1** – tempo de base do escoamento superficial.

#### 3.5.2 - Hidrograma Sub-Superficial (QD2)

O hidrograma do escoamento sub-superficial (AO2) é obtido a partir da transformação da lâmina do escoamento sub-superficial através de uma função linear para a subida do hidrograma e por uma função exponencial para a recessão (Braga, 2001), descritas abaixo:

Para a subida:

$$QD2(t+J) = \frac{QM(t) \times J}{MET2} \quad (\text{m}^3/\text{dia}) \quad (3.23)$$

Para a recessão:

$$QD2(t+J) = QM(t) \times \left( 1,1 \times e^{\frac{\ln 0,1}{1,1} \times \frac{J-MET2}{MAX2-MET2}} - 0,1 \right) \quad (\text{m}^3/\text{dia}) \quad (3.24)$$

onde:

$$QM(t) = \frac{AO2(t) \times AE}{(MAX2 - MET2) \times \left( \frac{1}{\ln 1,1 - 0,1} \right) + MET2 \times 0,5} \quad (\text{m}^3/\text{dia}) \quad (3.25)$$

Sendo:

**MET2** – tempo para atingir o pico do escoamento sub-superficial;

**MAX 2** – tempo de base do escoamento sub-superficial.

### 3.5.3 - Hidrograma Subterrâneo

O hidrograma subterrâneo é obtido pela transformação da lâmina do escoamento subterrâneo AGW(t) em hidrograma por uma função para a recessão, dada por:

$$QGW = AGW(t) \times AE \quad (\text{m}^3/\text{dia}) \quad (3.26)$$

onde AGW(t) é dado por:

$$AGW = \frac{AGW(t-1)}{1 + \frac{1}{K}} + \frac{IGW(t)}{1 + K} \quad (\text{mm}/\text{dia}) \quad (3.27)$$

Sendo:

**K** – constante do reservatório a ser calibrado;

**IGW (t)** – infiltração no lençol subterrâneo;

**AE** – área da sub-bacia.

O escoamento total (QGES) médio diário é a soma das vazões superficial, sub-superficial e subterrâneo dividido pelo tempo de um dia em segundos, dado pela equação abaixo:

$$QGES(t) = \frac{QD1(t) + QDZ(t) + QGW(t)}{86400} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (3.28)$$

### 3.6 - Propagação do Escoamento nos Canais

Sendo o modelo distribuído, o hidrograma de uma sub-bacia serve como hidrograma de entrada do trecho de rio da bacia subsequente (Kleeberg et. al., 1989). A propagação do escoamento nos trechos de rios pode ser feita através dos métodos da velocidade do fluxo, (Williams, 1969; Kalinin-Miljukov, Fread, 1985). A equação de Manning é utilizada para o cálculo das velocidades de escoamento na calha principal e nos planos de inundações, as quais são multiplicadas por três coeficientes de ajuste;

- EKM (usado para o cálculo da velocidade no canal principal);
- EKL e EKR (usados para o cálculo das velocidades nos planos de inundações esquerdo e direito, respectivamente).

A propagação do escoamento total é feita nos trechos de rios cuja seção é considerada trapezoidal conforme mostrado na Figura 3.3.

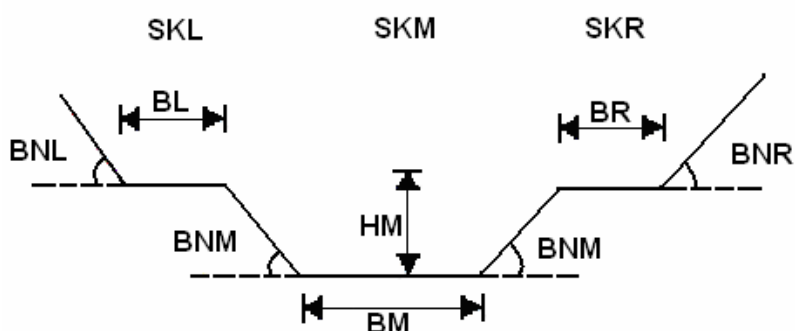


Figura 3.3 – Seção transversal do rio (Kleeberg et al., 1989)

onde:

**BM** – largura da calha principal (m);

**HM** – altura da calha principal (m);

**BL** – largura do plano de inundação esquerdo (m);

**BR** – largura do plano de inundação direito (m);

**BNM** – declividade das paredes laterais da calha do rio principal;

**BNL** – declividade da parede lateral da margem esquerda;

**BNR** – declividade da parede lateral da margem direita;

**SKM** – é igual a  $(1/n)$ ;  $n$  é o coeficiente de rugosidade de Manning para a calha principal;

**SKL** – é igual a  $(1/n)$ ;  $n$  é o coeficiente de rugosidade de Manning para o plano de inundação da margem esquerda;

**SKR** – é igual a  $(1/n)$  ; n é o coeficiente de rugosidade de Manning para o plano de inundação da margem direita.

### 3.7 - Parâmetros Calibráveis do Modelo NAVMO

Abaixo são apresentados os parâmetros calibráveis do modelo NAVMO e os seus significados.

**MET1** – Tempo para atingir o pico do escoamento superficial (dias);

**MET2** – Tempo para atingir o pico do escoamento sub-superficial (dias);

**MAX1** – Tempo de base do escoamento superficial (dias);

**MAX2** – Tempo de base do escoamento sub-superficial (dias);

**KG** – Parâmetro do escoamento subterrâneo (dias);

**EET** – Parâmetro de evaporação (-);

**EKM** – Fator de multiplicação do tempo de fluxo no leito do rio (-);

**EKL** – Fator de multiplicação do tempo de fluxo no plano de inundação esquerdo (-);

**EKR** – Fator de multiplicação do tempo de fluxo no plano de inundação direito (-);

**ALFA** – Parâmetro de escoamento superficial (-);

**BETA** – Coeficiente de escoamento sub-superficial;

**BFD** – Parâmetro que define o déficit de umidade inicial do solo (%);

**QBSP** – Parâmetro que define o escoamento subterrâneo inicial ( $m^3/seg/Km^2$ ).

### 3.8 - Resultados Gerados pelo Modelo NAVMO

Ao fim da simulação o modelo NAVMO apresenta resultados como:

- Hidrogramas do escoamento diário de cada ano;
- Volumes anuais dos anos simulados;
- Vazões máximas anuais dos anos simulados;
- Desvio médio;
- Desvio hidrológico;
- Diferença de picos de vazão.



## CAPÍTULO 4

### 4.0 – ÁREA DE ESTUDO E BASE DE DADOS

#### 4.1 – Bacia Hidrográfica do rio Paraíba/PB

A bacia hidrográfica do rio Paraíba, que compreende as sub-bacias do Baixo, Médio e Alto Paraíba e a bacia do rio Taperoá está localizada no semi-árido paraibano e integra as meso-regiões da Borborema, do Agreste e do Litoral paraibano, abrangendo uma área de 19.750 km<sup>2</sup>. Compreendida entre as latitudes 6°51'31" e 8°26'21" Sul e as longitudes 34°48'35" e 37°2'15" a Oeste de Greenwich, é a segunda maior bacia do estado da Paraíba, abrangendo 38% do seu território com seus 1.886.655 habitantes que correspondem 52% da sua população total segundo dados do (PERH-PB, 2006). A Figura 4.1 mostra a bacia do rio Paraíba e suas divisões.

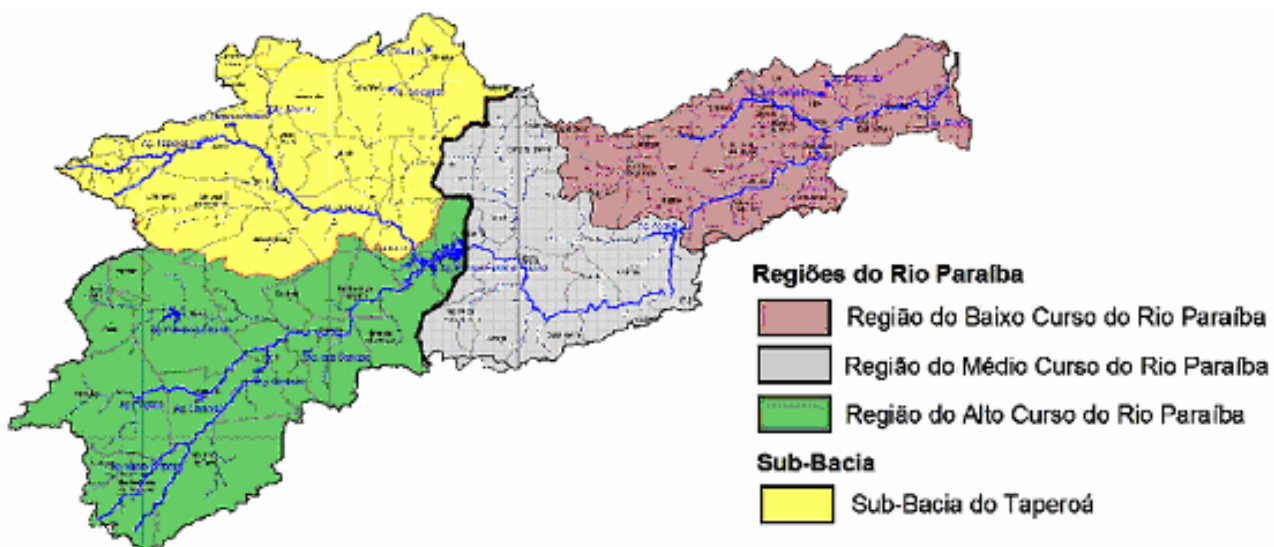


Figura 4.1 – Bacia do Rio Paraíba e suas sub-bacias

#### 4.2 - Sub-bacia do rio Taperoá

A Sub-bacia do rio Taperoá está localizado na parte central do estado da Paraíba. Limita-se com as sub-bacias do Espinharas e do Seridó a oeste (pertencentes à bacia do rio Piranhas), com a região do alto curso do rio Paraíba ao sul, com as bacias do Jacú e Curimataú ao norte, e com a região do médio curso do rio Paraíba a leste. Seu principal rio é o Taperoá, de regime intermitente, drenando uma área aproximada de 5.661,45 km<sup>2</sup>. Seu clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BShw', isto é, semi-árido quente, onde as

precipitações são baixas e a estação seca alcança um período de 8 a 9 meses, com uma temperatura média do ar variando entre 18 a 22°C, sendo que os valores mínimos ocorrem nas porções mais altas do planalto da Borborema. A temperatura máxima varia entre 28°C e 31°C, nos meses de novembro e dezembro. A precipitação média anual varia entre 400 mm e 600 mm. Observa-se que a maior concentração do total precipitado ocorre em um período aproximado de dois a quatro meses, correspondendo a 65% do total das chuvas anuais. A umidade relativa do ar medida varia de 60% a 75%, com valores máximos ocorrendo no mês de junho e os mínimos no mês de novembro (PERH-PB 2006).

A vegetação natural predominante na Sub-bacia do rio Taperoá é a Caatinga hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia. Em alguns trechos a caatinga apresenta-se densa, com vegetação rasteira constituída por herbáceos espinhosos e arbustos densos. Em outros setores mais secos, a vegetação perde totalmente as folhas no verão. A Sub-bacia apresenta planaltos com setores ondulado, forte ondulado e montanhoso. O tipo de solo predominante na região da sub-bacia é o Bruno não Cálcico de pouca espessura, que cobre todo o cristalino existente na área de abrangência da sub-bacia, além de solos Litólicos, Solonetz Solodizado, Regossolos e Cambissolos (PERH-PB, 2006).

### **4.3 - Sub-bacia do Alto rio Paraíba**

Localizada na parte sudoeste do planalto da Borborema a região do alto curso do rio Paraíba faz fronteira ao norte com a bacia do Taperoá, ao sul e a oeste com o estado de Pernambuco e a leste com a região do médio curso do rio Paraíba. A área de drenagem é de aproximadamente 6.727,69 km<sup>2</sup>, da qual 10,30 km<sup>2</sup> encontram-se fora dos limites do Estado.

De acordo com a classificação de Köppen, a região do alto curso do rio Paraíba possui clima do tipo BSw<sup>h</sup>, ou seja, semi-árido quente, com estação seca atingindo um período que compreende de 9 a 10 meses, e precipitações médias em torno de 400 mm. As variações de temperatura atingem mínimas mensais de 18°C a 22°C entre os meses de julho e agosto e máximas mensais de 28°C a 31°C entre os meses de novembro e dezembro. Apresenta uma umidade relativa do ar numa média mensal de 60% a 75%, observando-se que os valores máximos ocorrem, geralmente, no mês de junho, e os mínimos no mês de dezembro (PERH-PB 2006).

O regime pluviométrico na região do alto curso do rio Paraíba apresenta precipitações médias anuais que variam entre 350 mm a 600 mm, sendo que os totais anuais se concentram em um período de quatro meses que, geralmente, corresponde aos meses de fevereiro, março,

abril e maio. A vegetação predominante é natural de caatinga hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcaducifólia. Esta vegetação caracteriza-se pela perda das folhas no verão, exceto em áreas onde existe vegetação rasteira constituída por herbáceos espinhosos, arbustos e aglomerados rasteiros (PERH-PB 2006)..

A região do alto curso do rio Paraíba está inserida na escarpa sudoeste do planalto da Borborema, com as cotas mais altas superiores a 600 m, em relevo ondulado, forte ondulado e, em algumas áreas, também montanhoso, sendo observado um tipo de solo Bruno não Cálcico, que cobrem todo o cristalino (PERH-PB 2006).

#### **4.4 – Sub-bacia do Médio rio Paraíba**

A região do médio curso do rio Paraíba /PB onde esta localizada a seção de Acauã, com uma área de drenagem de 4.244 km<sup>2</sup>, área relativa ao açude de Boqueirão, segundo a classificação de Köeppen apresenta clima BSw'h', ou seja, semi-árido quente. As variações de temperatura média mínima na bacia são de 18°C a 22°C, com ocorrência da variação mais intensamente nas regiões mais altas do planalto da Borborema. Apresenta temperatura máxima variando entre 28°C e 31°C nos meses de novembro e dezembro. Os dados pluviométricos indicam que a região apresenta precipitação média anual diferenciada decrescendo de leste (1100 mm) para oeste (600 mm). A umidade relativa do ar na região varia de 68% a 85%, ocorrendo valores máximos entre os meses de junho a agosto, e os mínimos, de novembro a janeiro, segundo dados do (PERH-PB, 2006). A vegetação predominante é do tipo caatinga hiperxerófila, hipoxerófila, floresta caducifólia e subcabucifólia.

Quanto ao relevo, está situada na parte do planalto da Borborema, apresentando três faixas de transição entre a depressão Sublitorânea e a região da serra da Borborema, com setores ondulados, forte ondulados e montanhosos, e os solos predominantes do tipo: Bruno não Cálcico de pouca espessura, Litólicos, Solonetz Solodizado, Regossolos e Cambissolos.

#### **4.5 – Sub-bacia do Baixo rio Paraíba**

A região do baixo curso do rio Paraíba está localizado na parte litorânea do Estado da Paraíba. Limita-se ao sul com a sub-bacia do Gramame e com o Estado de Pernambuco, ao norte com a bacia do Mamanguape e Miriri, a oeste com a região do médio curso do rio Paraíba e a leste com o Oceano Atlântico. A região é drenada pelo baixo curso do rio Paraíba, que deságua no Oceano Atlântico na cidade de Cabedelo, e tem como principal afluente o rio

Paraibinha, possuindo uma área de 3.940,45 km<sup>2</sup>, da qual 15,04 km<sup>2</sup> encontra-se fora dos limites do Estado (PERH-PB, 2006).

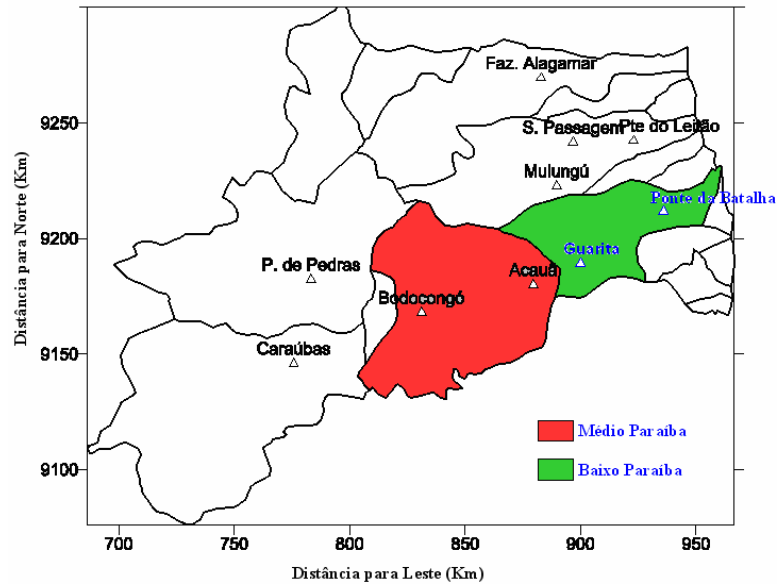
Em relação ao aspecto climático, a região do baixo curso do rio Paraíba vigora o clima do tipo Aw', isto é, úmido conforme a classificação de Köeppen. As variações sobre a distribuição de temperatura são de 20°C a 24°C em relação aos valores mínimos, e 28°C a 32°C quando atingem valores máximos nos meses de novembro e dezembro. A pluviosidade indica que a precipitação média anual varia entre 1.200 e 1.700 mm, com valores decrescentes da região litorânea para o interior. Observa-se que a maior concentração do total precipitado ocorre nas áreas costeiras. Com relação à umidade relativa do ar medida, esta varia de 68% a 85%, com valores máximos ocorrendo entre os meses de julho e agosto e os mínimos entre os meses de novembro e janeiro.

Existem algumas áreas com vegetação nativa da mata Atlântica e ecossistemas associados, como, manguezais, campos de várzeas e formações mistas dos tabuleiros, cerrados e restingas. A região tem sofrido com o desmatamento para dar lugar a culturas de cana-de-açúcar, abacaxi, inhame, mandioca, etc. O relevo é plano, predominando áreas de tabuleiro com vales rasos em forma de "U" e solos do tipo Bruno não Cálcico, Litólico, Solonetz Solodizado, Regossolo e Cambissolo. Convém destacar, também, a ocorrência de solos Aluviais Eutróficos com textura arenosa, bem drenados e com ausência de pedregosidade (PERH-PB, 2006).

#### **4.6 – Dados Hidroclimatológicos**

As áreas de estudo foram delimitadas a partir de mapas da SUDENE, os quais foram digitalizados e geograficamente orientados por Lima (2008). Após a delimitação das áreas foram selecionados os postos fluviométricos do banco de dados da ANA - Agência Nacional de Águas.

Os postos fluviométricos cuja localização está mostrada na Figura 4.2 e seus respectivos períodos de dados encontram-se na Tabela 4.1. Os dados de evaporação disponíveis (Tabela 4.2) são os valores médios diários dos dados observados nas estações de Monteiro, Ouro velho e Campina Grande.



**Figura 4.2 – Distribuição dos Postos Fluviométricos nas Bacias do Médio e Baixo Rio Paraíba/PB**

**Tabela 4.1 – Disponibilidade de dados observados nas estações de medições de vazões**

Código	Nome	Anos Observados	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )
38880000	Guarita	1970 a 1987	4.843*
38895000	Ponte da Batalha	1970 a 1989	6.867*

(\*) Áreas relativas à seção do açude Boqueirão.

**Tabela 4.2 – Evaporação Média Diária**

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Evap. (mm)</b>	9.40	8.25	8.21	8.16	7.05	5.92	6.55	7.91	8.56	9.08	9.69	9.41

\* Dados tanque Classe A

Os dados de precipitações diárias foram analisados considerando os postos com período de disponibilidade de dados coincidente com os de vazões para a modelagem (Lima, 2008). Para a fase de simulações realizadas no restante do trabalho, foram analisados dados de postos para três faixas de tempo consideradas (1911 a 1983, 1930 a 1983 e 1963 a 1983) de modo que fosse possível alguma comparação com dados observados. A Tabela 4.3 lista 35 postos selecionados para formar os três bancos de dados.

**Tabela 4.3 – Postos Pluviométricos Selecionados**

	<b>Nome dos Postos</b>	<b>Código</b>	<b>Estado</b>	<b>Período de dados</b>
1	Acaú	735035	PB	62-94
2	Açude Boqueirão	736023	PB	61-94
3	Alagoa Grande	735033	PB	59-90
4	Alhandra	734008	PB	36-94
5	Alagoa Nova	735030	PB	11-93
6	Aroeiras	735029	PB	62-94
7	Bananeiras	635033	PB	30-94
8	Bodocongó 1	735028	PB	33-94
9	Bom Jardim	735041	PE	11-93
10	Barra de Santa Rosa	636032	PB	30-83
11	Cacimba de Dentro	635037	PB	62-94
12	Cruz do Espírito Santo	735019	PB	11-90
13	Escada	835022	PE	13-83
14	Fagundes	735018	PB	62-93
15	Faz. Lagoa dos Macacos	735012	PB	62-94
16	Ingá	735017	PB	10-88
17	Itabaiana	735015	PB	10-87
18	Itambé	735072	PB	10-90
19	Jacaraú	635043	PB	62-93
20	Macaparama	735060	PE	63-92
21	Machados	735061	PE	63-93
22	Mata Virgem	735011	PB	62-94
23	Mogeirol	735010	PB	62-94
24	Mulungú	735009	PB	26-06
25	Pilar	735007	PB	62-94
26	Pocinhos	736014	PB	23-93
27	Riacho Santo Antônio	736013	PB	62-93
28	Sapé	735006	PB	24-93
29	São José do Mipibu	636005	RN	11-83
30	Serra caiada	635009	RN	22-91
31	Taquaritinga do Norte	736021	PE	11-92
32	Timbaúba	735074	PE	11-89
33	Umbuzeiro	735002	PB	10-94
34	Vertente	735085	PE	11-93
35	Vicência	735087	PE	63-89

As regiões do médio e baixo rio Paraíba são consideradas regiões homogêneas como pôde ser observado nas suas características climáticas e físicas descritas acima, obedecendo assim um dos requisitos básicos para que seja possível a regionalização da área.

A partir das informações físicas e climáticas da região foi possível obter a Tabela 4.4 com as variáveis utilizadas na regionalização da área.

**Tabela 4.4 – Variáveis Independentes utilizadas para Regionalização**

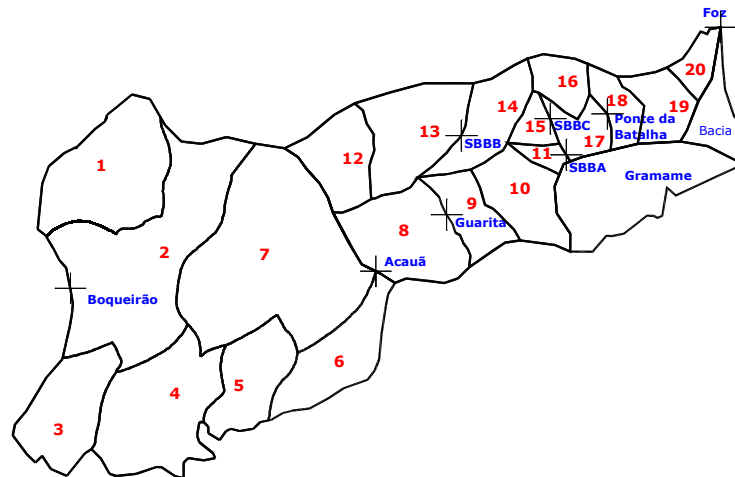
	<b>Acauã</b>	<b>Guarita</b>	<b>Ponte da Batalha</b>	<b>Foz</b>
<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	4244,00	4843,00	6867,00	7373,00
<b>L (km)</b>	219,95	23,40	30,00	35,77
<b>S<sub>m</sub> (m/km)</b>	16,30	9,40	29,39	7,92
<b>D<sub>d</sub> (m/km<sup>2</sup>)</b>	170,71	158,76	150,64	150,73
<b>P<sub>med</sub> (mm)</b>	1672,44	1642,59	1282,81	1338,94
<b>P<sub>max</sub> (mm)</b>	4401,33	4068,92	2747,86	2855,16
<b>P<sub>max</sub> (Diária) (mm)</b>	160,27	160,40	315,37	264,86

## CAPÍTULO 5

### 5.0 – MODELAGEM DO ESCOAMENTO E SIMULAÇÃO DE SÉRIES

#### 5.1 – Modelagem do Escoamento

A modelagem da bacia do baixo rio Paraíba/PB foi feita por Lima (2008), enquanto que a modelagem do médio rio Paraíba/PB foi adaptada da modelagem feita por Furtunato (2004), ambas com base em mapas da SUDENE. Nos dois casos, a região foi dividida em sub-bacias de acordo com as exigências do modelo NAVMO. A área do médio rio Paraíba/PB que tem Acauã como exutório foi dividida em 7 sub-bacias e o restante que corresponde ao baixo rio Paraíba, onde estão as estações de Guarita (4.843 km<sup>2</sup> em relação a Boqueirão), Ponte da Batalha (6.867 km<sup>2</sup> em relação a Boqueirão) e a Foz (7.373 km<sup>2</sup> em relação a Boqueirão), foi dividido em 13 sub-bacias, totalizando 20 sub-bacias, enumeradas conforme a rede de drenagem. Procurou-se coincidir as estações fluviométricas com uma das divisões para que desta forma fosse possível a comparação entre as vazões observadas e as simuladas (Figura 5.1).



**Figura 5. 1 – Modelagem das Bacias do Médio e Baixo Rio Paraíba**

#### 5.1.1 – Postos Pluviométricos Selecionados

Lima (2008) montou o banco de dados de postos pluviométricos para a modelagem da área do baixo rio Paraíba/PB buscando uma distribuição homogênea dos postos em torno de toda a área, e para isso selecionou 49 postos (anexo F), dos quais 38 estão localizados no Estado da Paraíba e 11 no Estado de Pernambuco.



### 5.1.2 – Calibração dos Parâmetros

Dois grupos de parâmetros foram calibrados com base nos dados observados nas estações fluviométricas da região (Tabela 5.1). O valor do primeiro bloco de parâmetros foi obtido a partir da calibração do modelo NAVMO para os picos e o segundo para os volumes, por tentativa e erro. Foram calibrados os parâmetros que mais afetam o escoamento, de acordo com Lacerda Jr. (2002) e Braga (2001), o parâmetro ALFA do escoamento superficial, o parâmetro EET da evapotranspiração e o parâmetro CN que define a capacidade de armazenamento dos reservatórios superficial e sub-superficial, considerando-se a variabilidade climática (anos secos, normais e úmidos) e física da bacia (solo). Pelo fato de se tratar de uma região com contribuição subterrânea nas partes baixas da bacia, foram também considerados o parâmetro BETA, do escoamento sub-superficial, e o QBSP da vazão de base que funciona como uma vazão de regularização. A variabilidade climática foi considerada conforme o total anual precipitado (P), sendo considerados anos secos quando  $P < 600$  mm/ano, normais quando  $600 < P < 800$  mm/ano e úmidos quando  $P > 800$  mm/ano (Cadier, 1996; Figueiredo e Srinivasan 1999; Lima, 2008). Como são poucos os anos com dados de vazões observadas (ver Tabela 5.1), não ocorreram anos secos nesses períodos.

**Tabela 5.1 – Disponibilidade de dados observados nas estações de medições de vazões**

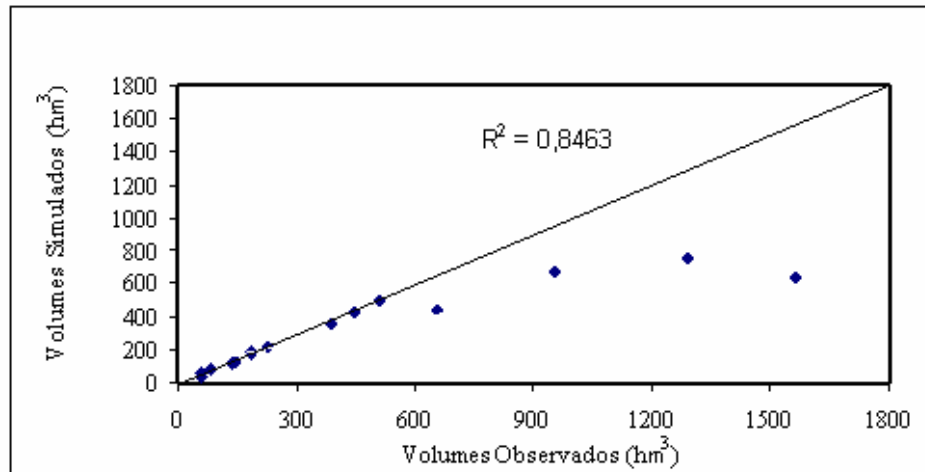
<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Anos Observados</b>	<b>Área de Drenagem (km<sup>2</sup>)</b>
38880000	Guarita	1970 a 1987	4.843*
38895000	Ponte da Batalha	1970 a 1989	6.867*

(\*) Áreas relativas à seção do açude Boqueirão.

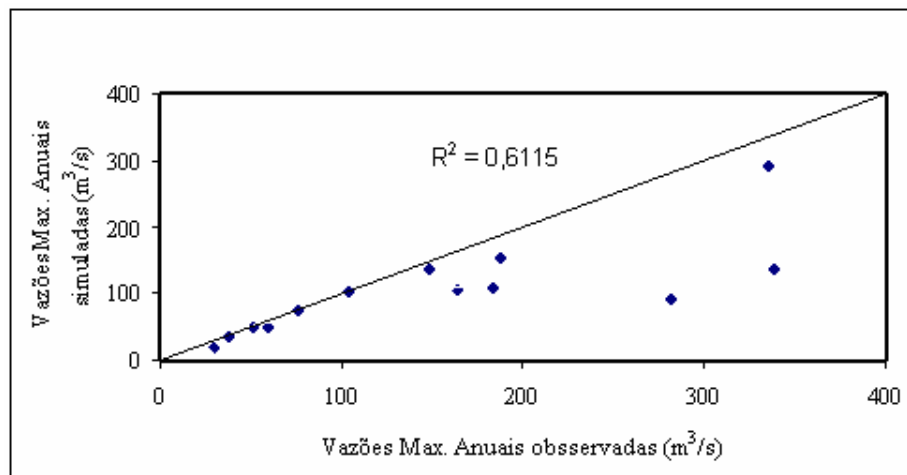
### 5.1.3 – Resultados da Modelagem Realizada por Lima (2008)

#### **Bacia de Contribuição do Posto Guarita – 4.843,00 km<sup>2</sup>**

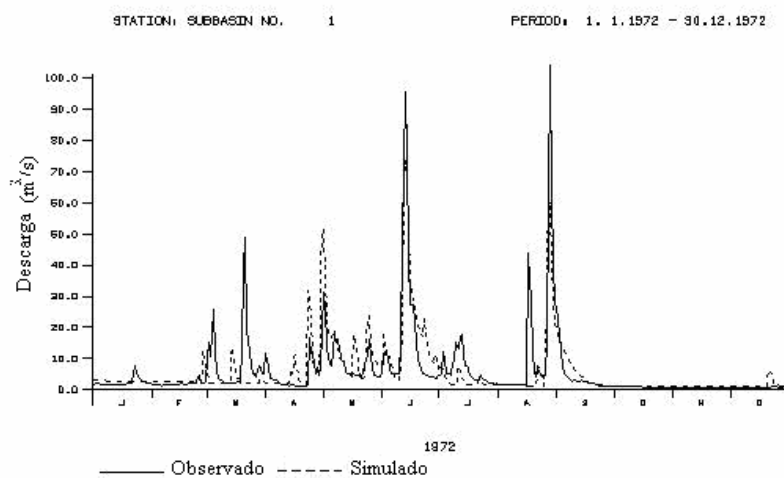
As Figuras 5.2 e 5.3 mostram que os resultados obtidos por Lima (2008) tanto para o volume total anual quanto para vazões máximas anuais no processo de calibração da bacia de Guarita foram bons, tendo em vista que  $R^2 > 0,6$ . Comparando o hidrograma simulado e o observado (Figuras 5.4 e 5.5) pode-se observar que o modelo representou bem o processo de escoamento.



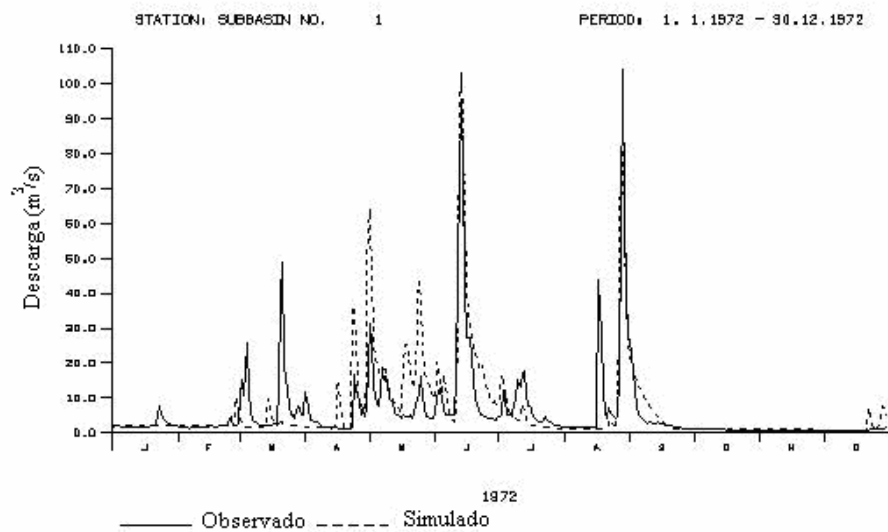
**Figura 5.2 – Volumes Anuais Simulados e Observados na bacia de Guarita. (Fonte: Lima, 2008).**



**Figura 5.3 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Guarita. (Fonte: Lima, 2008).**



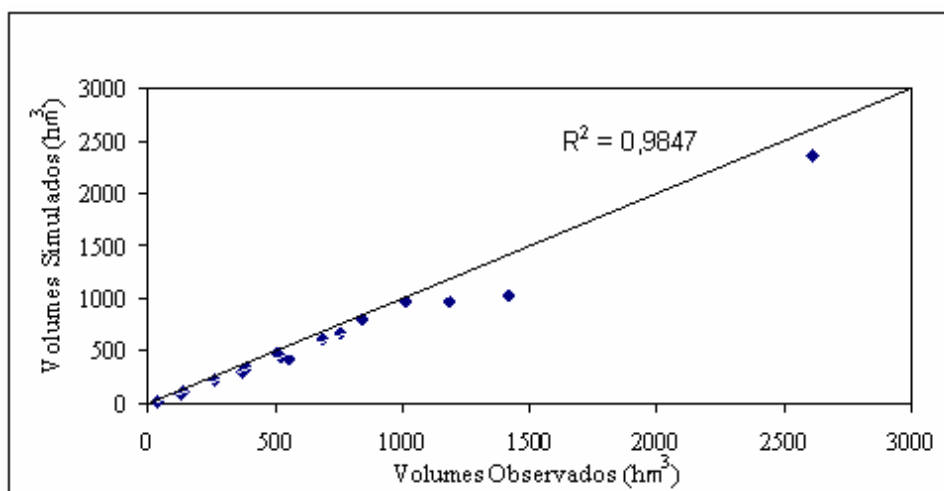
**Figura 5.4 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1972 e Simulado com parâmetros calibrados pelo Volume. (Fonte: Lima, 2008).**



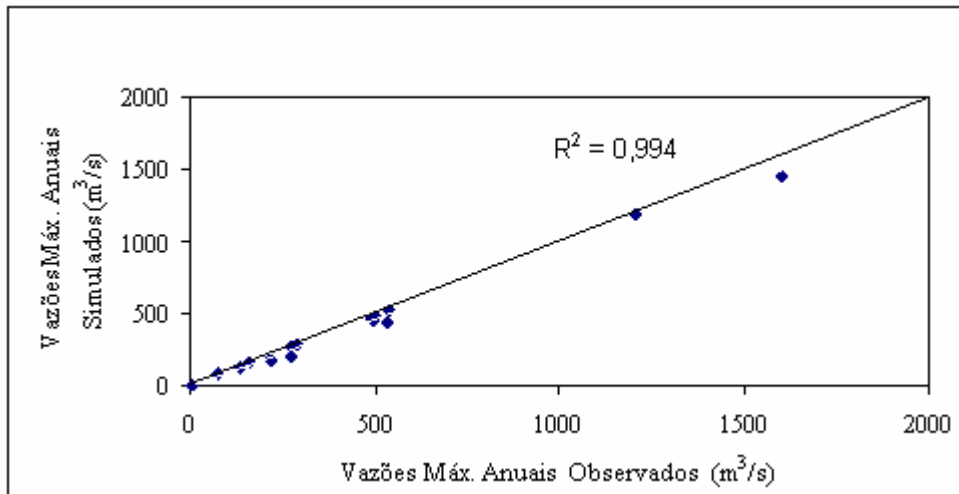
**Figura 5.5 – Hidrogramas Observado na Bacia de Guarita em 1972 e Simulado com parâmetros calibrados pela Vazão Máxima Anual. (Fonte: Lima, 2008).**

**Bacia de Contribuição do Posto Ponte da Batalha – 6.867,00 km<sup>2</sup>**

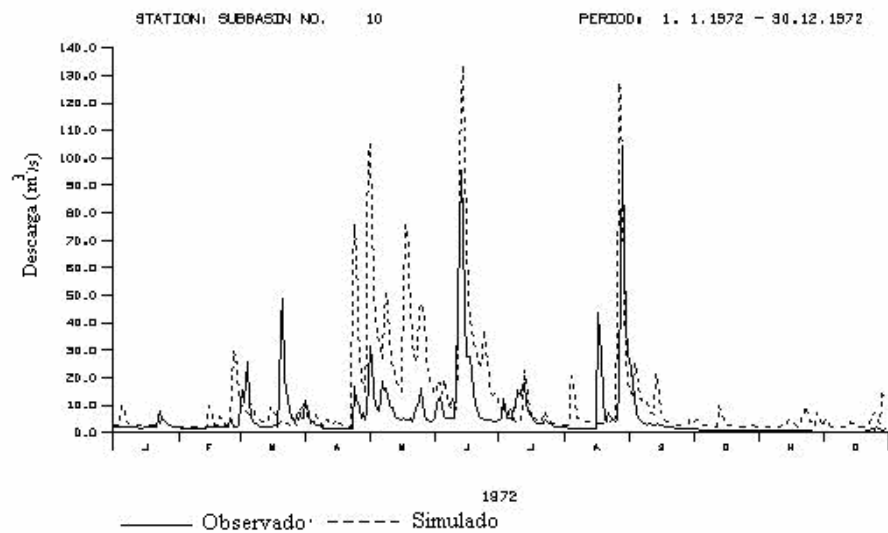
As Figuras 5.6 e 5.7 mostram que os resultados obtidos por Lima (2008) tanto para o volume total anual quanto para vazões máximas anuais no processo de calibração da bacia de Ponte da Batalha foram bons, tendo em vista que  $R^2 > 0,98$ . Comparando o hidrograma simulado e o observado (Figuras 5.8 e 5.9) pode-se observar que o modelo representou bem o processo de escoamento.



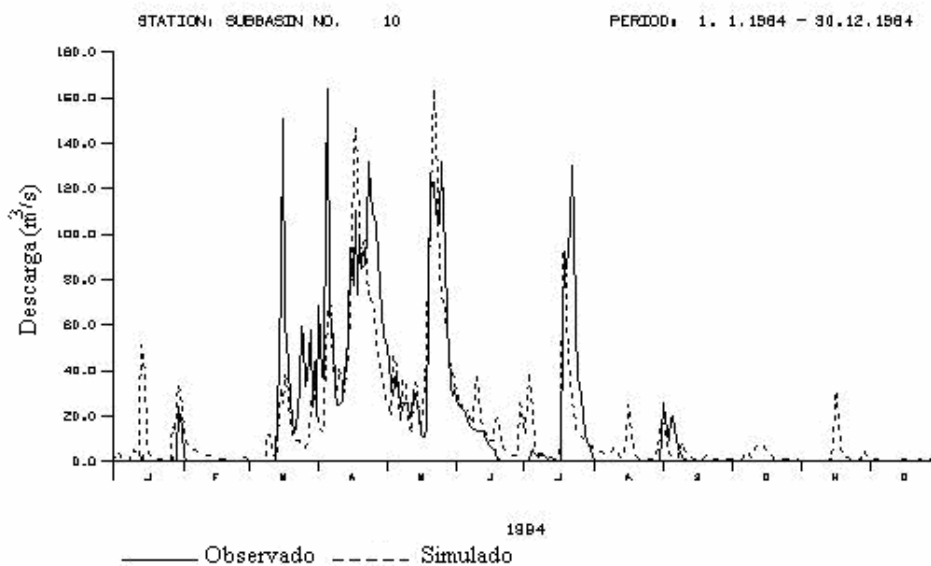
**Figura 5.6 – Volumes Anuais Simulados e Observados na bacia de Ponte da Batalha. (Fonte: Lima, 2008).**



**Figura 5.7 – Vazões Máximas Anuais Simuladas e Observadas na bacia de Ponte da Batalha. (Fonte: Lima, 2008).**



**Figura 5.8 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte da Batalha em 1972 e Simulado com parâmetros calibrados pelo Volume. (Fonte: Lima, 2008).**



**Figura 5.9 – Hidrogramas Observado na Bacia de Ponte da Batalha em 1984 e Simulado com parâmetros calibrados pela Vazão Máxima Anual. (Fonte: Lima, 2008).**

#### **5.1.4 – Resultados da Validação Realizada por Lima (2008)**

Com o objetivo de verificar a consistência dos valores dos parâmetros obtidos na calibração dos dados diários, Lima (2008) fez a validação do modelo, utilizando para isso diferentes critérios:

- Simulações com parâmetros médios obtidos das calibrações por vazões máximas e volumes (parâmetros médios totais);
- Simulações com parâmetros médios obtidos da calibração pelos volumes;
- Simulações com parâmetros médios obtidos da calibração pelas vazões máximas;
- Simulações com parâmetros classificados por condições antecedentes (anos secos, normais e úmidos);
- Análise do efeito de escala sobre os parâmetros;

A validação dos parâmetros realizada por Lima (2008), de um modo geral foi boa do ponto de vista dos hidrogramas observados e simulados, já com relação aos resultados obtidos para o coeficiente de determinação, os resultados não são considerados tão bons, tendo em vista que os valores médios  $R^2 < 0,4$ . Já as distribuições temporais das vazões diárias simuladas (hidrogramas) representaram bem graficamente, no entanto algumas defasagens no tempo foram observadas, quando os picos foram analisados.

## **5.2 – Simulação de Séries de Longo Período**

O modelo distribuído NAVMO foi utilizado para gerar duas séries de vazões uma de vazões máximas com os parâmetros médios calibrados pelos picos e outra de vazões médias com os parâmetros médios calibrados pelos volumes. Para as simulações utilizou-se a série de longo período de 1911 a 1983 que engloba as duas outras séries (1930 a 1983 e 1963 a 1983).

### **5.2.1 – Postos Pluviométricos Selecionados**

O quadro no anexo E mostra a disponibilidade de dados dos postos selecionados para formar os três bancos de dados usados nas simulações. A primeira vista foram analisados diversos postos pluviométricos e foram descartados alguns por apresentarem falhas nos dados, justamente nos anos necessários para as simulações. Assim em alguns bancos de dados foi necessário incluir postos não pertencentes a área, mas que estão próximos pois, o modelo não estava encontrando postos próximos para calcular a precipitação média, já que foi usado o método do Ponto Reticular modificado para calcular a precipitação média, o qual é necessário se ter quatro postos próximos do centro da sub-bacia, cada um em um quadrante, o que estava levando o modelo em alguns quadrantes de algumas sub-bacias a considerar a precipitação como zero, o que iria levar o modelo a subestimar as vazões simuladas.

A montagem dos bancos de dados foi feita dividindo-se os postos pluviométricos conforme o período de disponibilidade de dados, para assim montar uma série que compreendesse os 73 anos de 1911 a 1983 que cobre boa parte dos anos de 1970 a 1987 que dispunham de dados de vazões para comparação, servindo, assim, como teste dos parâmetros empregados e validação do modelo. Foram montadas três séries de dados, a primeira de 1911 a 1983 com 11 (onze) postos, a segunda de 1930 a 1983 com 16 postos em anexo e a terceira de 1963 a 1983 com 35 postos. A Tabela 5.2 mostra os postos pluviométricos usados na montagem do banco de dados de 1911 a 1983.

**Tabela 5.2 – Postos Pluviométricos utilizados para simulações do período de 1911 a 1983**

	Nome dos Postos	Código	Estado	Período de dados
1	Alagoa Nova	735030	PB	11-93
2	Bom Jardim	735041	PE	11-93
3	Escada	835022	PE	13-83
4	Ingá	735017	PB	10-88
5	Itabaiana	735015	PB	10-87
6	Itambé	735072	PB	10-90
7	São José do Mipibu	636005	RN	11-83
8	Serra caiada	635009	RN	22-91
9	Timbaúba	735074	PE	11-89
10	Umbuzeiro	735002	PB	10-94
11	Vertente	735085	PE	11-93

**5.2.2 – Abordagem Utilizada na Parametrização**

Durante a fase de calibração do NAVMO, não foram calibrados parâmetros para anos secos devido a não ocorrência desses anos no período de dados observados (Lima, 2008). Na fase de simulação, onde os anos simulados encontram-se no período de 1911 a 1983, ocorreram, nesse intervalo, anos normais, úmidos e secos. Desta forma foi necessário adotar um critério para a simulação dos anos secos, tendo sido utilizados os parâmetros dos anos normais. Para as demais condições de pluviometria anual, foram adotados os valores médios dos parâmetros obtidos nos anos normais, utilizados para simular anos normais, e valores médios dos parâmetros obtidos nos anos úmidos para simular anos úmidos, todos os parâmetros utilizados foram obtidos por Lima (2008). As Tabelas 5.3 a 5.6 mostram os valores utilizados.

**Tabela 5.3 – Parâmetros médios da calibração pelos picos – Anos Úmidos**

EET	ALFA	QBSP	BETA	CN
0,84	0,42	0,004	0,229	82,67

**Tabela 5.4 – Parâmetros médios da calibração pelos picos – Anos Normais**

EET	ALFA	QBSP	BETA	CN
2,500	0,538	0,001	0,000	62,00

**Tabela 5.5 – Parâmetros médios da calibração pelos volumes – Anos Úmidos**

EET	ALFA	QBSP	BETA	CN
0,825	0,310	0,005	0,124	85,80

**Tabela 5.6 – Parâmetros médios da calibração pelos volumes – Anos Normais**

EET	ALFA	QBSP	BETA	CN
1,900	0,498	0,003	0,000	69,00

### **5.2.3 – Seleção de Bacias para Simulação**

Seis séries distintas foram obtidas na fase de simulação, três de vazões máximas com os parâmetros médios calibrados pelos picos e três de vazões médias com os parâmetros médios calibrados pelos volumes. As séries foram simuladas para sete sub-bacias: Acauã (4.244 km<sup>2</sup>), Guarita (4.843 km<sup>2</sup>), SBBA (5.413,31 km<sup>2</sup>), SBBB (684,09 km<sup>2</sup>), SBBC (1.140,35 km<sup>2</sup>), Ponte da Batalha (6.867 km<sup>2</sup>) e Foz (7.373 km<sup>2</sup>), todas essas áreas são em relação a Boqueirão. As sub-bacias SBBA a SBBC foram selecionadas ao longo do curso principal com base na rede de drenagem e com áreas variadas. As nomenclaturas das bacias SBBA, SBBB e SBBC foram escolhidas de modo a diferenciar uma da outra e facilitar sua identificação, sendo que nenhuma informação é agregada a essa nomenclatura.

Os resultados serão mostrados através de gráficos de barra e discutidos com relação à consistência das simulações dos volumes e vazões máximas anuais de cada uma das sub-bacias para a série de longo período (1911 a 1983).

### **5.2.4 – Resultados das Simulações de Longo Período em Bacias com Dados Observados**

#### **Bacia de Contribuição do Posto Guarita – 4.843,00 km<sup>2</sup>**

As Figuras 5.10 e 5.11 mostram as simulações de 1911 a 1983 das vazões máximas e médias, respectivamente, e as vazões observadas no período de 1970 a 1987 na bacia de Guarita. É possível observar que as simulações das vazões máximas representam bem os picos observados. Contudo em alguns anos o modelo subestimou e em outros anos o modelo superestimou o escoamento. Já as simulações de vazões médias apresentaram menos anos com subestimações. De um modo geral os valores apresentados nas simulações para o período sem dados são consistentes quando comparados com os dados observados.



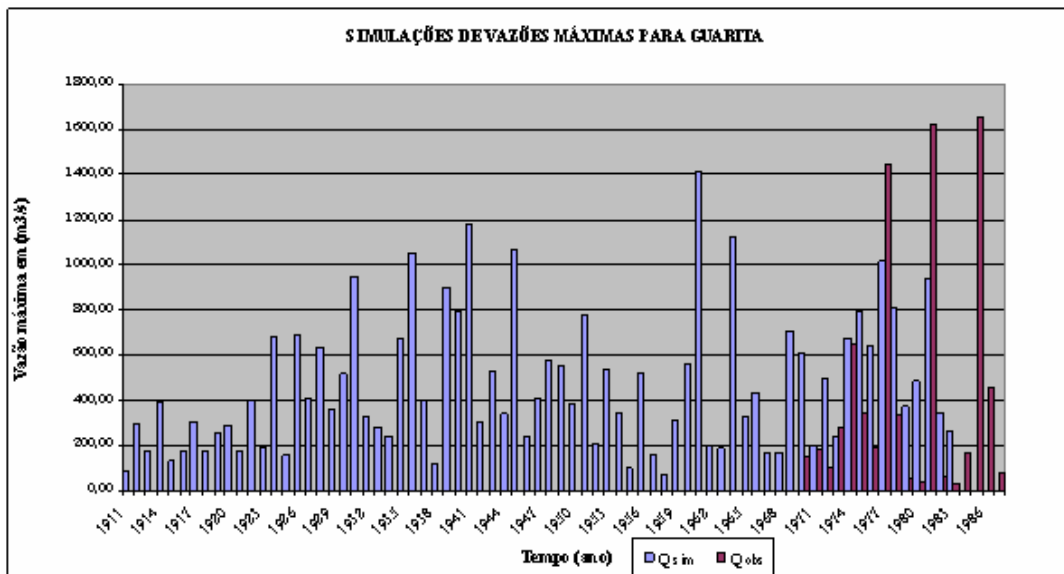


Figura 5.10 – Simulação de vazões máximas da bacia de Guarita

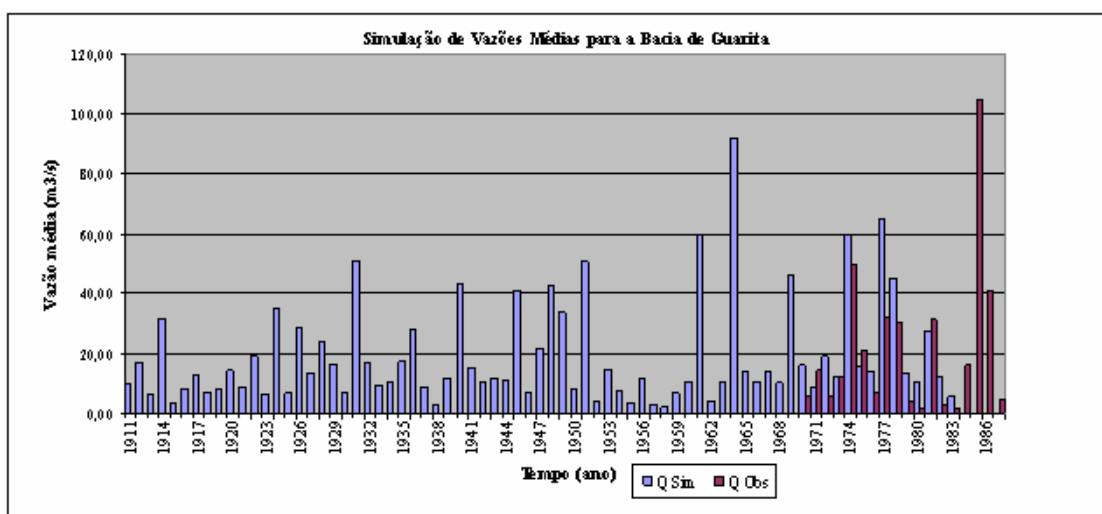


Figura 5.11 – Simulação de vazões médias da bacia de Guarita

### Bacia de Contribuição do Posto Ponte da Batalha – 6.867,00 km<sup>2</sup>

As Figuras 5.12 e 5.13 abaixo mostram as simulações de 1911 a 1983 das vazões máximas e médias, respectivamente, e as suas respectivas vazões observadas no período do de 1970 a 1987 na bacia de contribuição da seção de Ponte da Batalha. Nota-se que as simulações para vazões máximas observadas foram subestimadas pelo modelo na maioria dos anos, com poucos anos com escoamento superestimado. No entanto, as vazões médias anuais foram melhores estimadas. De um modo geral os valores das simulações nos anos sem dados são consistentes quando comparados com os dados observados.

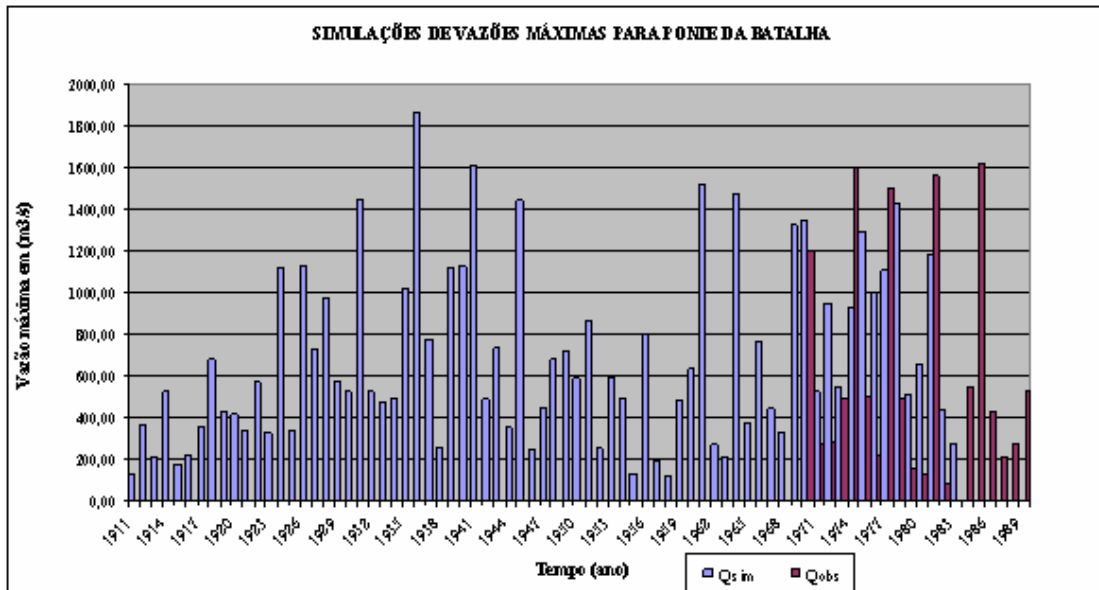


Figura 5.12 – Simulação de vazões máximas da bacia de Ponte da Batalha

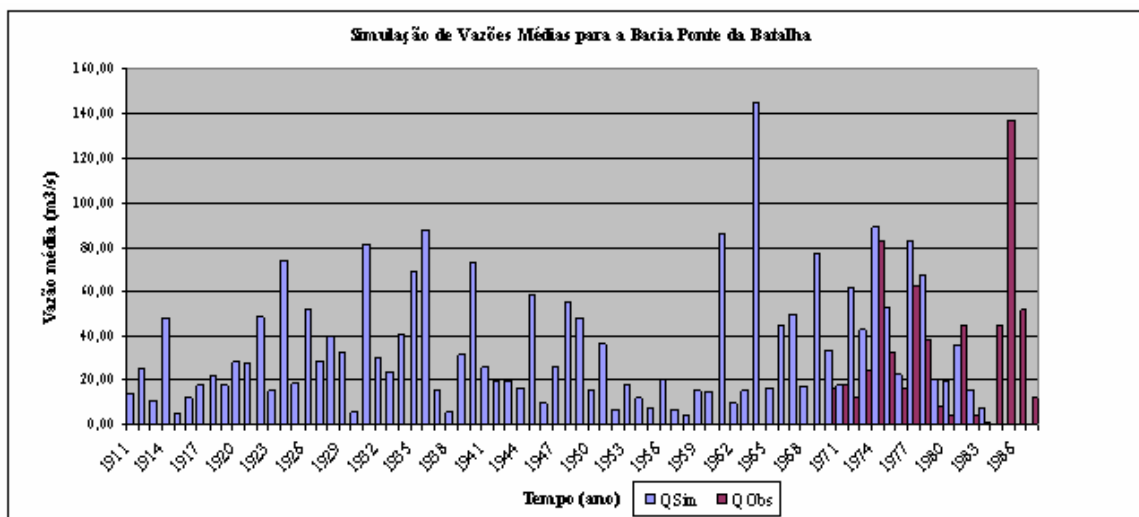


Figura 5.13 – Simulação de vazões médias da bacia de Ponte da Batalha

### 5.2.5 – Resultados das Simulações de Longo Período em Bacias sem Dados Observados

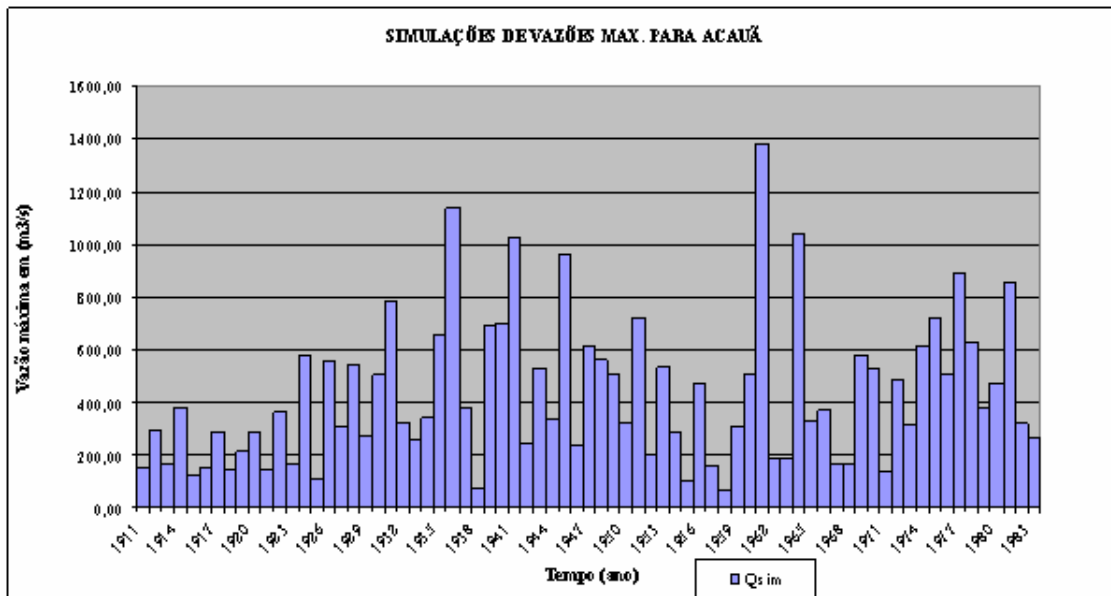
As simulações de vazões anuais máximas e médias para as bacias de Acauã, SBBA, SBBC, SBBD e Foz são mostradas nas Figuras 5.14 a 5.23. A Tabela 5.7 mostra as estações sem dados observados.

**Tabela 5.7 – Estações sem dados observados**

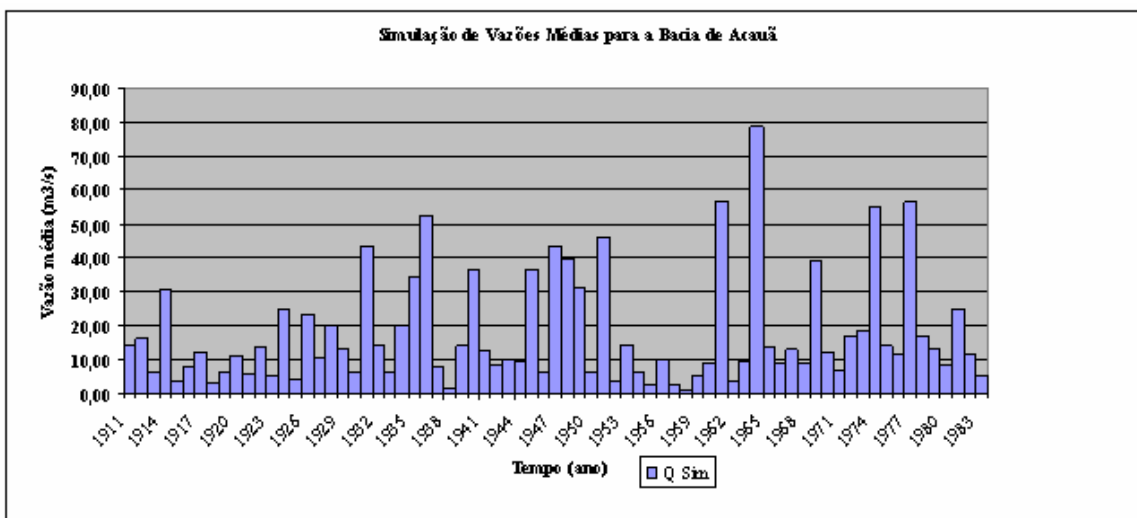
Nome	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )
Acauã	4.244*
SBBA	5.413,31*
SBBB	684,09*
SBBC	1.140,35*
Foz	7.373*

(\*) Áreas relativas à seção do açude Boqueirão.

**Bacia de Contribuição do Posto Acauã – 4.244,00 km<sup>2</sup>**



**Figura 5.14 – Simulação de vazões máximas da bacia de Acauã**



**Figura 5.15 – Simulação de vazões médias da bacia de Acauã**

Bacia de Contribuição do Posto SBBA – 5.413,31 km<sup>2</sup>

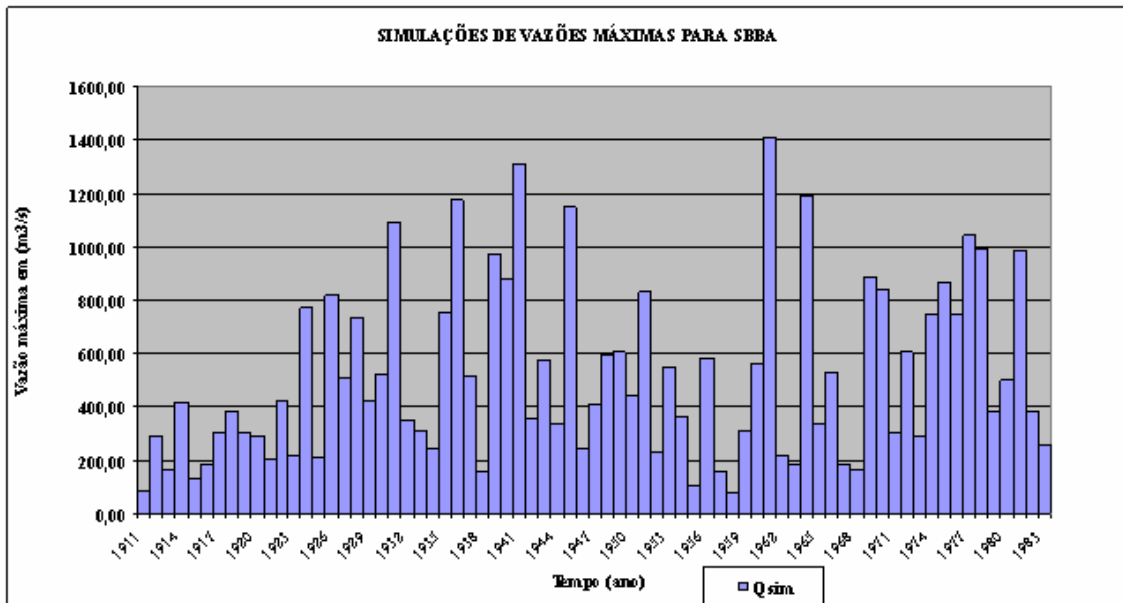


Figura 5.16 – Simulação de vazões máximas da bacia de SBBA

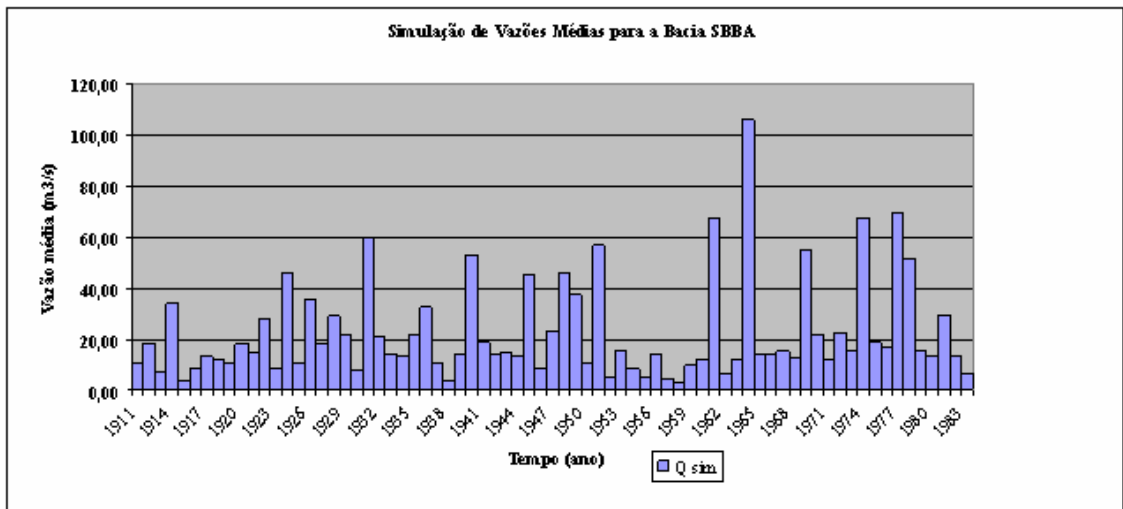


Figura 5.17 – Simulação de vazões médias da bacia de SBBA

## Bacia de Contribuição do Posto SBBB – 684,09 km<sup>2</sup>

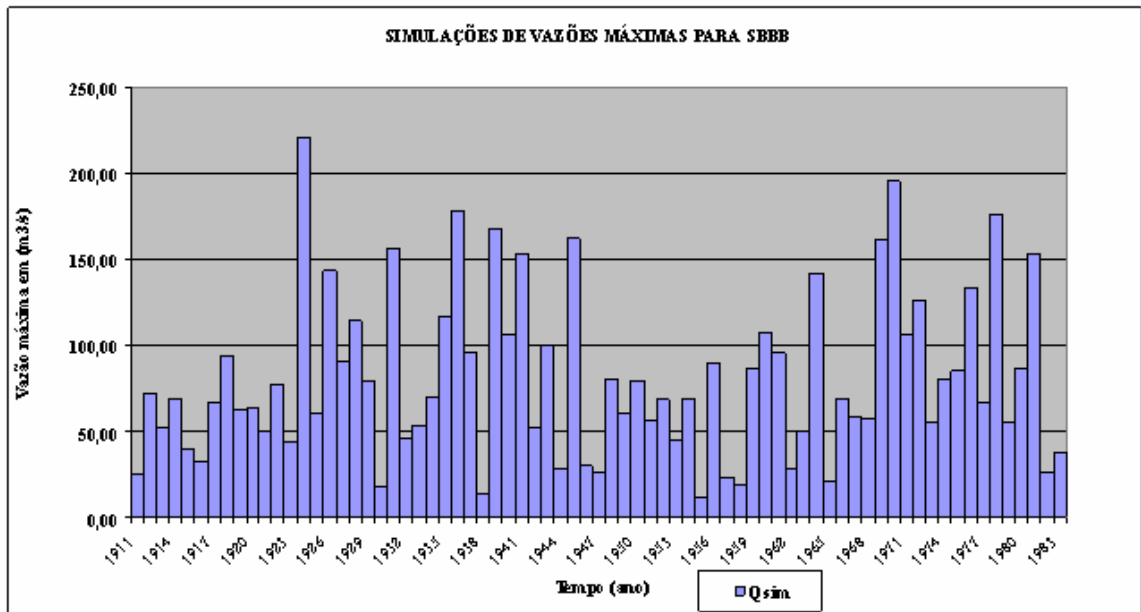


Figura 5.18 – Simulação de vazões máximas da bacia de SBBB

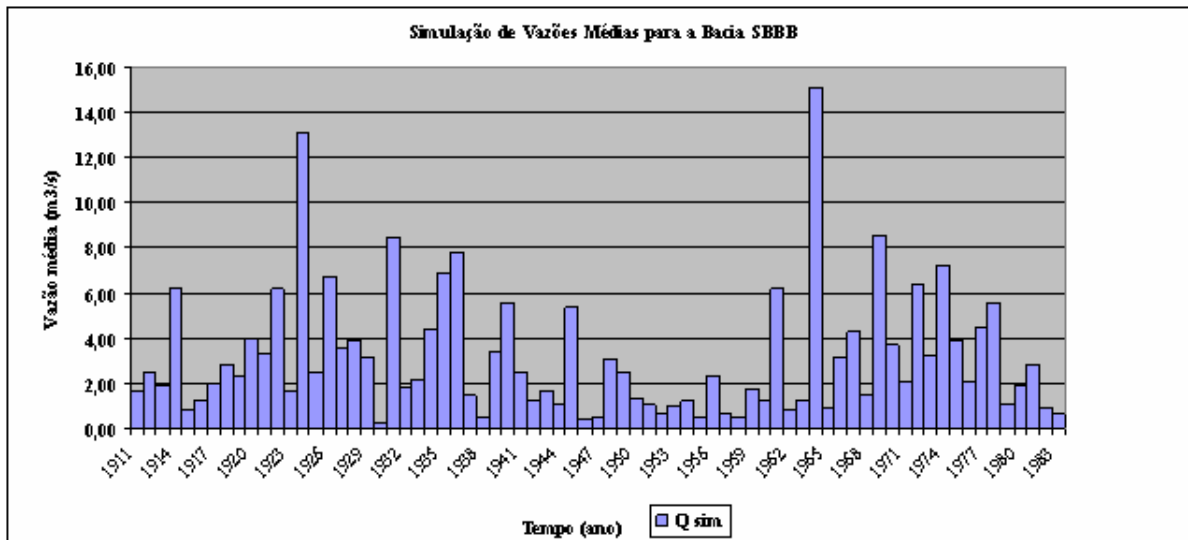


Figura 5.19 – Simulação de vazões médias da bacia de SBBB

## Bacia de Contribuição do Posto SBBC – 1.140,35 km<sup>2</sup>

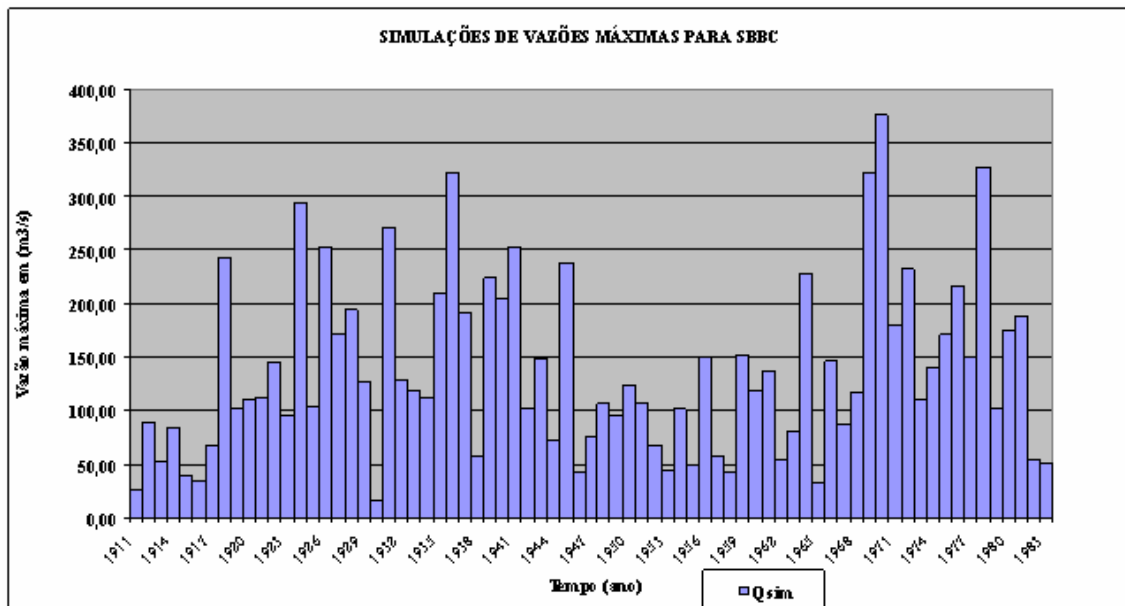


Figura 5.20 – Simulação de vazões máximas da bacia de SBBC

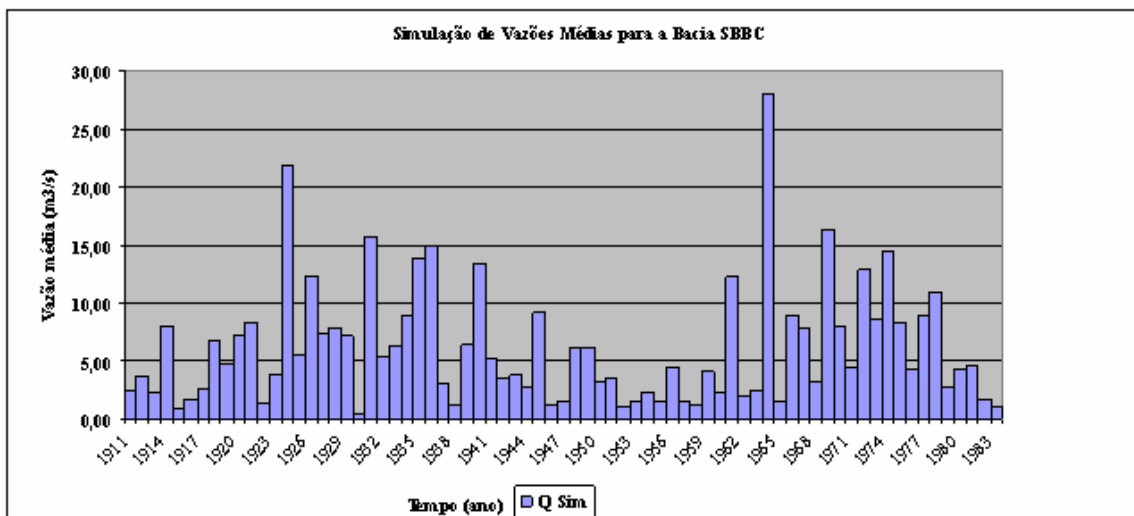


Figura 5.21 – Simulação de vazões médias da bacia de SBBC

## Bacia de Contribuição do Posto Foz – 7.373,00 km<sup>2</sup>

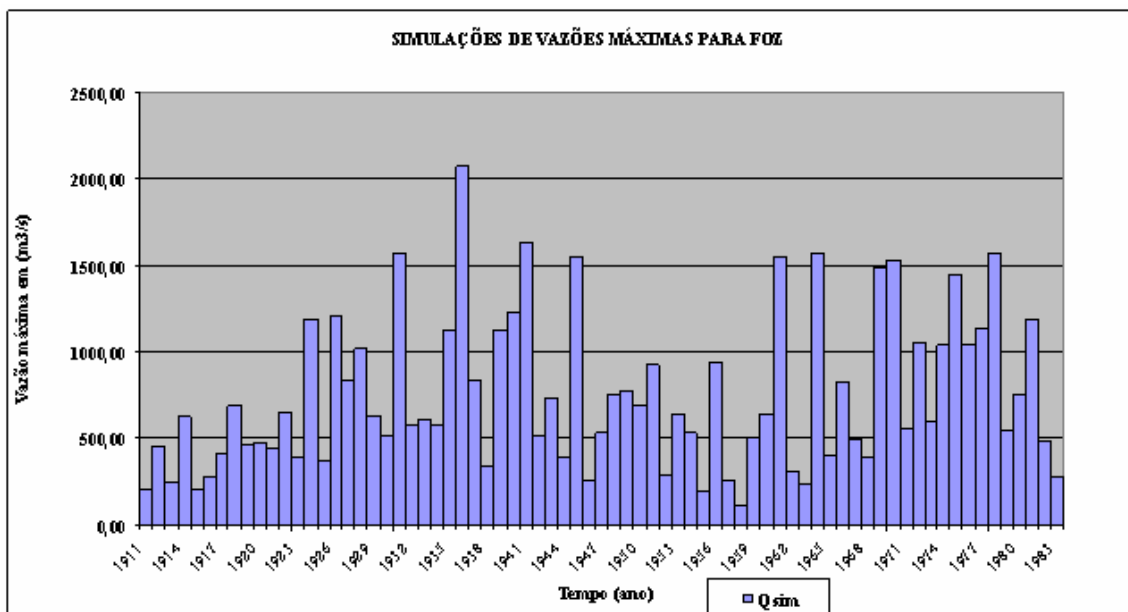


Figura 5.22 – Simulação de vazões máximas da bacia da Foz

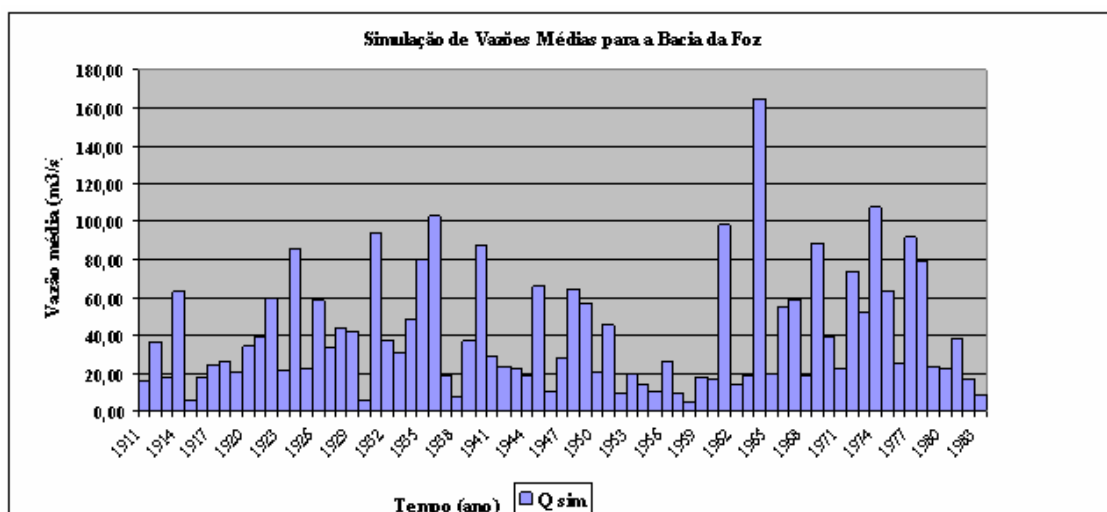


Figura 5.23 – Simulação de vazões médias da bacia da Foz

### 5.3 – Análise das Séries Simuladas

Conforme mostrado, os resultados das simulações realizadas com o modelo NAVMO foram, em geral, razoáveis quando comparados graficamente. As Tabelas 5.8 e 5.9 apresentam um resumo numérico, em termos comparativos das simulações, com os parâmetros médios, com os dados observados bem como através do coeficiente de determinação  $R^2$ , obtidos para cada conjunto de dados. Os resultados dos valores de  $R^2$  foram razoáveis já que todos foram superiores a 0,56, com destaque para as simulações de vazões

médias onde os valores de  $R^2$  foram superiores a 0,71. Uma exceção foi a bacia de Ponte da Batalha que apresentou  $R^2$  inferior a 0,34 no caso das vazões máximas que tem poucos dados observados, influenciando, assim no resultado. Essas séries serviram de base para a análise regional que será apresentada no próximo capítulo. A análise de consistência e homogeneidade das séries também serão mostradas no próximo capítulo.

**Tabela 5.8 – Vazões máximas simuladas e observadas nas bacias de Guarita e Ponte da Batalha**

Guarita ( $R^2 = 0,5630$ )			Ponte da Batalha ( $R^2 = 0,3365$ )		
Qsim	Qobs	Qobs – Qsim	Qsim	Qobs	Qobs – Qsim
614	148	-466	1347	1205	-142
198	184	-14	526	278	-248
498	104	-394	949	291	-658
236	281	45	551	497	-54
677	648	-29	931	1599	668
792	338	-454	1297	501	-796
639	188	-451	1004	219	-785
1016	1444	428	1111	1502	391
804	335	-469	1430	493	-937
372	51,6	-321	508	164	-344
489	38,6	-450	652	133	-519
939	1622	683	1186	1560	374
348	59,8	-288	442	78,2	-364
261	29,9	-231	269	5,12	-264



**Tabela 5.9 – Vazões médias anuais simuladas e observadas na bacia de Guarita e Ponte da Batalha**

<b>Guarita (<math>R^2 = 0,7390</math>)</b>			<b>Ponte da Batalha (<math>R^2 = 0,7141</math>)</b>		
<b>Qsim</b>	<b>Qobs</b>	<b>Qobs – Qsim</b>	<b>Qsim</b>	<b>Qobs</b>	<b>Qobs – Qsim</b>
16,16	5,94	-10,22	33,23	16,31	-16,92
8,39	14,15	5,76	18,11	17,87	-0,24
19,04	5,91	-13,13	62,07	12,26	-49,81
12,10	12,33	0,23	42,58	24,20	-18,38
59,90	49,60	-10,3	88,75	82,61	-6,14
15,71	20,88	5,17	53,27	32,45	-20,82
13,70	7,27	-6,43	22,47	16,71	-5,76
64,75	31,92	-32,83	82,86	62,26	-20,6
45,04	30,30	-14,74	67,77	38,04	-29,73
13,66	4,36	-9,3	20,26	8,39	-11,87
10,39	1,81	-8,58	19,61	4,08	-15,53
27,25	31,33	4,08	35,66	45,29	9,63
12,16	2,68	-9,48	15,80	4,45	-11,35
5,51	1,79	-3,72	7,64	1,20	-6,44

## CAPÍTULO 6

### 6.0 – REGIONALIZAÇÃO NO MÉDIO E BAIXO RIO PARAÍBA/PB

#### 6.1 – Introdução

A regionalização ou técnica regional vem sendo utilizada em regiões com pouco ou nenhum monitoramento. A regionalização pode ser de parâmetros, funções, processos, etc., através dos quais é possível se determinar funções capazes de estimar (e.g., vazões máximas, vazões mínimas, etc.) num local sem dados (Tucci, 1997).

Essa etapa da pesquisa consistiu em determinar relações capazes de estimar variáveis hidrológicas, com base em características físicas e climáticas das regiões do médio e baixo rio Paraíba/PB. No processo de escolha das variáveis físicas da bacia, optou-se por aquelas que influem de forma significativa nos processos hidrológicos e que já foram utilizadas em outros estudos (Nunes, 2005; Crispim, 2005), entre elas a área de drenagem ( $A$ ), o comprimento do rio principal ( $L$ ), a declividade da bacia ( $S_b$ ) e a densidade de drenagem ( $D_d$ ). Dentre as variáveis climáticas optou-se pela precipitação, tendo em vista a sua grande influência no escoamento. Três foram os tipos de precipitação investigadas, entre elas: a precipitação média anual ( $P_{\text{med anual}}$ ), a precipitação máxima anual ( $P_{\text{max anual}}$ ) e a precipitação máxima diária ( $P_{\text{max diária}}$ ), podem ser vista na Tabela 4.4 no capítulo 4.

#### 6.2 - Séries Simuladas

As duas séries de longo período (1911 a 1983), nos anexos A e B, de vazões anuais (médias e máximas) simuladas a partir de valores médios dos parâmetros calibrados do modelo NAVMO foram submetidas aos testes de homogeneidade regional, paramétricos e não paramétricos utilizando um planilha eletrônica desenvolvida pela Agência Nacional de Água – ANA, ANA (2004). Os testes, quando requeridos, foram feitos com nível de significância de 5%. As distribuições de probabilidade foram testadas com base no teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, também ao nível de 5% de significância. Para o ajuste dos parâmetros de cada distribuição utilizou-se o método dos momentos, (Kite, 1977). O estudo foi realizado com a planilha eletrônica EXCEL, como ferramenta de cálculo das probabilidades, como também, para as análises da regressão simples e múltipla, empregadas para determinar funções matemáticas das variáveis hidrológicas.

As variáveis hidrológicas escolhidas para análise foram: a vazão máxima, média e com 95% de garantia, essa última muito usada como vazão de referência para outorga no Rio Paraíba/PB (Mendes, 2007).

### 6.2.1 – Vazões Máximas e Médias

As séries de longo período (1911 a 1983) de vazões máximas e médias foram obtidas a partir dos hidrogramas de vazões médias diárias, simuladas pelo modelo NAVMO, utilizando os valores médios dos parâmetros para anos classificados em secos, normais e úmidos. As vazões médias foram calculadas a partir de volumes anuais fornecidos pelo modelo.

Para as vazões máximas foram testadas as distribuições de probabilidade, Gumbel, Gama, Pearson Tipo III e a Log-Normal. Já para as vazões médias foram testadas a distribuição Normal, Gama e a Pearson Tipo III, com o objetivo de determinar o modelo probabilístico que melhor se ajusta à frequência dos dados simulados.

### 6.2.2 – Vazões Mínimas

A vazão mínima utilizada foi a vazão com 95% de garantia ( $Q_{95\%}$ ) calculada a partir da construção das curvas de permanência para cada uma das sub-bacias. Essa curva retrata a parcela de tempo em que uma determinada vazão é igualada ou superada durante o período analisado (Tucci, 2002). A Tabela 6.1 abaixo mostra as funções determinadas para curva de permanência através de funções potenciais para cada sub-bacia. Conforme pode ser observado, os resultados foram bons para maioria das sub-bacias ( $R^2 > 0,6747$ ), com exceção das sub-bacias SBBA e SBBC onde os valores de  $R^2 < 0,45$ . Onde  $N_G$  é o nível de garantia com que se tem uma determinada vazão.

**Tabela 6.1 – Curva de Permanência das Sub-bacias do Médio e Baixo Paraíba**

Sub-Bacia	Variável Dependente	Variável Independente	Curva de Permanência	R <sup>2</sup>
Acauã	Vazão com garantia i - (m <sup>3</sup> /s)	$N_G$	$Q_i = 5,0088 * N_G^{-0,8948}$	0,8317
Guarita	Vazão com garantia i - (m <sup>3</sup> /s)	$N_G$	$Q_i = 5,9989 * N_G^{-0,8366}$	0,8639
SBBA	Vazão com garantia i - (m <sup>3</sup> /s)	$N_G$	$Q_i = 7,7972 * N_G^{-0,7838}$	0,8546
SBBB	Vazão com garantia i - (m <sup>3</sup> /s)	$N_G$	$Q_i = 1,1895 * N_G^{-0,6408}$	0,4425
SBBC	Vazão com garantia i - (m <sup>3</sup> /s)	$N_G$	$Q_i = 2,3569 * N_G^{-0,6244}$	0,4220
Ponte da Batalha	Vazão com garantia i - (m <sup>3</sup> /s)	$N_G$	$Q_i = 12,515 * N_G^{-0,7226}$	0,6851
Foz	Vazão com garantia i - (m <sup>3</sup> /s)	$N_G$	$Q_i = 15,502 * N_G^{-0,6935}$	0,6747

$N_G$  = nível de garantia

### 6.3 – Análise dos Resultados dos Testes de Estacionariedade das Séries de Vazões

As Tabelas 6.2 a 6.7 mostram os resultados das análises realizadas através da planilha Excel da Microsoft cedida pela ANA (2004). De forma geral os resultados foram bons. No entanto, a hipótese da identidade das médias foi rejeitada em duas bacias: SBBB e Ponte da Batalha (Tabelas 6.2 e 6.3). Já no caso do teste das variâncias, a hipótese nula foi aceita em todas as bacias. O teste não-paramétrico de Wilcoxon apresentou quatro bacias com a hipótese nula rejeitada: Guarita, SBBA, Ponte da Batalha e Foz, todas para vazões médias.

**Tabela 6.2 – Teste de Student para Vazões Máximas ( $\alpha = 5\%$ )**

Sub-Bacia	$t_{\text{teste}}$	$t_{\text{Crítico}}$	$H_0$	Resultado
Acauã	-1,418	1,994	Médias são Iguais	Aceita
Guarita	-1,481	1,994	Médias são Iguais	Aceita
SBBA	-1,584	1,994	Médias são Iguais	Aceita
SBBB	-3,306	1,994	Médias são Diferentes	Rejeita
SBBC	-1,828	1,994	Médias são Iguais	Aceita
P. da Batalha	-1,981	1,994	Médias são Iguais	Aceita
Foz	-1,845	1,994	Médias são Iguais	Aceita

**Tabela 6.3 – Teste de Student para Vazões Médias ( $\alpha = 5\%$ )**

Sub-Bacia	$t_{\text{teste}}$	$t_{\text{Crítico}}$	$H_0$	Resultado
Acauã	-1,173	1,994	Médias são Iguais	Aceita
Guarita	-1,620	1,994	Médias são Iguais	Aceita
SBBA	-1,552	1,994	Médias são Iguais	Aceita
SBBB	-1,350	1,994	Médias são Iguais	Aceita
SBBC	-1,654	1,994	Médias são Iguais	Aceita
P. da Batalha	-2,034	1,994	Médias são Diferentes	Rejeita
Foz	-1,935	1,994	Médias são Iguais	Aceita

**Tabela 6.4 – Teste de Snedecor Vazões Máximas ( $\alpha = 5\%$ )**

Sub-Bacia	$F_{\text{Amostra}}$	$F_{\text{Crítico}}$	$H_0$	Resultado
Acauã	0,648	1,763	Variâncias são iguais	Aceita
Guarita	0,639	1,763	Variâncias são iguais	Aceita
SBBA	0,702	1,763	Variâncias são iguais	Aceita
SBBB	0,142	2,386	Variâncias são iguais	Aceita
SBBC	0,708	1,893	Variâncias são iguais	Aceita
P. da Batalha	0,551	1,870	Variâncias são iguais	Aceita
Foz	0,529	1,870	Variâncias são iguais	Aceita

**Tabela 6.5 – Teste de Snedecor Vazões Médias ( $\alpha = 5\%$ )**

Sub-Bacia	F <sub>Amostra</sub>	F <sub>Crítico</sub>	H <sub>0</sub>	Resultado
Acauã	0,531	1,790	Variâncias são iguais	Aceita
Guarita	0,353	1,790	Variâncias são iguais	Aceita
SBBA	0,361	1,790	Variâncias são iguais	Aceita
SBBB	0,554	1,790	Variâncias são iguais	Aceita
SBBC	0,498	1,790	Variâncias são iguais	Aceita
P. da Batalha	0,439	1,790	Variâncias são iguais	Aceita
Foz	0,439	1,790	Variâncias são iguais	Aceita

**Tabela 6.6 – Teste de Wilconxon Vazões Máximas ( $\alpha = 5\%$ )**

Sub-Bacia	Z <sub>teste</sub>	Z <sub>Crítico</sub>	H <sub>0</sub>	Resultado
Acauã	-1,472	1,960	Não há tendência	Aceita
Guarita	-1,401	1,960	Não há tendência	Aceita
SBBA	-1,461	1,960	Não há tendência	Aceita
SBBB	-1,759	1,960	Não há tendência	Aceita
SBBC	-1,934	1,960	Não há tendência	Aceita
P. da Batalha	-1,627	1,960	Não há tendência	Aceita
Foz	-1,476	1,960	Não há tendência	Aceita

**Tabela 6.7 – Teste de Wilconxon Vazões Médias ( $\alpha = 5\%$ )**

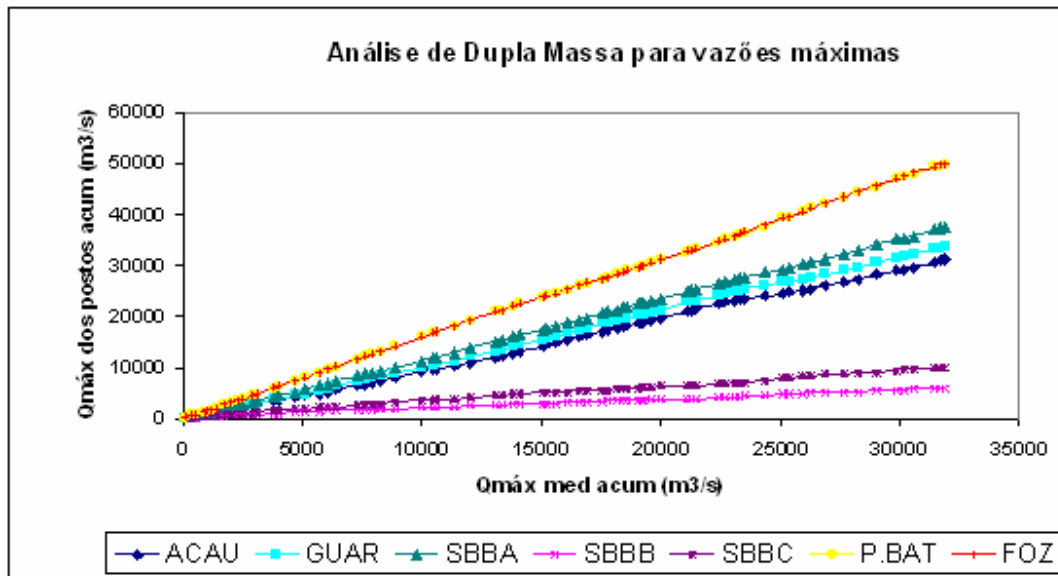
Sub-Bacia	Z <sub>teste</sub>	Z <sub>Crítico</sub>	H <sub>0</sub>	Resultado
Acauã	-1,732	1,960	Não há tendência	Aceita
Guarita	-2,016	1,960	Há tendência	Rejeita
SBBA	-2,028	1,960	Há tendência	Rejeita
SBBB	-1,633	1,960	Não há tendência	Aceita
SBBC	-1,930	1,960	Não há tendência	Aceita
P. da Batalha	-2,276	1,960	Há tendência	Rejeita
Foz	-1,979	1,960	Há tendência	Rejeita

## 6.4 – Verificação da Homogeneidade das Séries

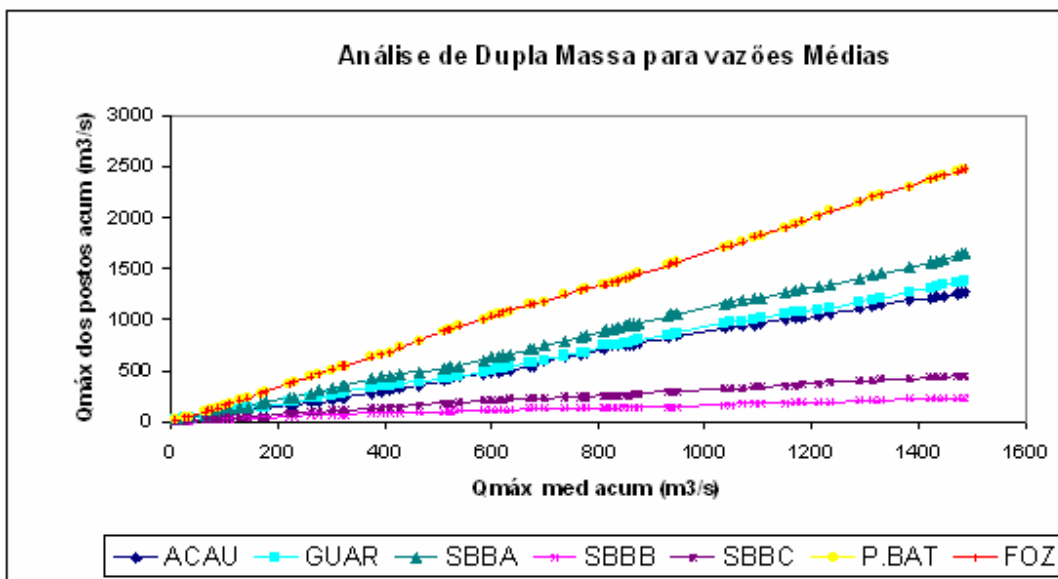
### 6.4.1 – Teste de Dupla Massa para Vazões Máximas e Vazões Médias

É possível ver nas Figuras 6.1 e 6.2 os resultados do teste da dupla massa (valores acumulados da série do posto investigado versus média regional acumulada) de homogeneidade entre os valores médios das vazões máximas e médias acumulada, e os valores acumulados de cada bacia. Os resultados não apresentaram mudanças bruscas nas retas obtidas, e ainda é possível observar que as declividades das retas se mantiveram constantes para cada bacia da região estudada, embora tenha sido observada uma mudança

leve nas bacias SBBB e SBBC tanto para vazões máximas quanto para vazões médias. No geral os resultados mostraram uma boa homogeneidade dos dados simulados.



**Figura 6.1 – Análise de consistência das séries de Vazões Máximas**



**Figura 6.2 – Análise de consistência das séries de Vazões Médias**

### 6.5 – Relação entre os Indicadores Regionais

A Tabela 6.8 mostra os indicadores de regionalização que foram utilizados nessa pesquisa para determinar as equações de regressão simples, que relaciona o índice de cheia ( $a_T$ ) e o período de retorno (T). Segundo Tucci (2002) um indicador regional é um valor médio de uma variável ou proporção entre variáveis hidrológicas.

Entre os indicadores regionais mais usuais temos:

$$a_T = \frac{Q_T}{Q_2}; a_T = \frac{Q_T}{Q_{2,33}} \quad (6.1)$$

onde  $Q_T$  é a vazão máxima com período de retorno  $T$ , sendo que o primeiro se aplica nas estimativas com período de retorno de 2 anos, já o segundo na estimativa das vazão da distribuição de Gumbel, cuja média corresponde ao período de retorno de 2,33 anos. O procedimento para a regionalização é descrito abaixo:

- I. Correlaciona-se  $a_T$  com o período de retorno e define-se uma função de regressão  $a_T = f(T)$ ;
- II. Correlaciona-se  $Q_2, Q_{2,33}$  com as características da bacia (e.g.,  $A, L, S_m$ , etc.) e define-se uma função de regressão  $Q_i = f(A, L, S_m, \text{etc.})$  onde  $i$  indica o índice da vazão;
- III. Para a aplicação escolhe-se o período de retorno ( $T$ ) desejado e calcula-se o índice  $a_T$ ;
- IV. Para o local sem dados defini-se as características da bacia e calcula-se  $Q_2, Q_{2,33}$  com as funções de regressão;
- V. Em seguida determina-se  $Q_T = a_T Q_2, Q_T = a_T Q_{2,33}$ .

**Tabela 6.8 – Variáveis Hidrológicas (Vazões Máximas)**

Sub-Bacia	$Q_2(\text{m}^3/\text{s})$ - Gama	$Q_2(\text{m}^3/\text{s})$ - Pearson III	$Q_{2,33}(\text{m}^3/\text{s})$ - Gumbel	$Q_2(\text{m}^3/\text{s})$ - Log-Normal
Acauã	371,87	371,9	413,2	0,3543
Guarita	402,70	410,4	448,7	0,3840
SBBA	447,83	463,8	497,1	0,4266
SBBB	71,89	73,5	78,5	0,0681
SBBC	121,21	124,2	132,6	0,1150
Ponte da Batalha	603,36	622,9	663,2	0,5730
Foz	663,80	678,5	724,1	0,6291

As Tabelas 6.9 a 6.11 mostram os valores das vazões aplicadas na regressão múltipla para determinação das equações lineares e potencias. E a Tabela 6.12 mostra as variáveis independentes utilizadas na regionalização, incluindo as sub-bacias SBBA, SBBB e SBBC, que foram definidas na modelagem com o objetivo de melhorar a quantificação da vazão ao longo do rio Paraíba/PB. Os valores de vazões máximas utilizadas na regionalização, para obtenção das equações de regressão múltipla linear, são os mesmo da Tabela 6.8 acima.

**Tabela 6.9 – Variáveis Hidrológicas**

Sub-Bacia	$Q_{mp}(m^3/s)$	$Q_2(m^3/s)$ - Gama	$Q_2(m^3/s)$ – Pearson III	$Q_{95\%}(m^3/s)$
Acauã	17,45	12,91	12,91	3,03
Guarita	18,94	14,11	13,47	3,88
SBBA	22,55	17,36	16,42	5,22
SBBB	3,16	2,40	2,27	0,83
SBBC	6,12	4,76	4,61	1,69
Ponte da Batalha	33,94	27,32	26,87	8,26
Foz	40,22	32,86	32,46	10,46

**Tabela 6.10 – Variáveis Hidrológicas**

Sub-Bacia	$Q_2(m^3/s)$ - Gama	$Q_2(m^3/s)$ - Pearson III	$Q_{2,33}(m^3/s)$ - Gumbel	$Q_2(m^3/s)$ - Log-Normal
Acauã	12,75	12,72	12,72	0,3543
Guarita	12,82	12,80	12,80	0,3840
SBBA	12,92	12,90	12,90	0,4266
SBBB	11,10	11,05	11,08	0,0681
SBBC	11,62	11,57	11,60	0,1150
Ponte da Batalha	13,23	13,20	13,20	0,5730
Foz	13,33	13,32	13,31	0,6291

**Tabela 6.11 – Variáveis Hidrológicas**

Sub-Bacia	$Q_{mp}(m^3/s)$	$Q_2(m^3/s)$ - Gama	$Q_{2,33}(m^3/s)$ – Pearson III	$Q_{95\%}(m^3/s)$
Acauã	9,39	9,36	9,38	8,02
Guarita	9,51	9,49	9,49	8,26
SBBA	9,72	9,70	9,70	8,56
SBBB	7,70	7,67	7,68	6,72
SBBC	8,37	8,34	8,34	7,43
Ponte da Batalha	10,14	10,12	10,12	9,02
Foz	10,32	10,30	10,30	9,26

**Tabela 6.12 – Variáveis Independentes utilizadas para Regionalização**

	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	Ponte da Batalha	Foz
<b>A (km<sup>2</sup>)</b>	4244,00	4843,00	5412,31	684,09	1140,35	6867,00	7373,00
<b>L (km)</b>	219,95	23,40	33,36	33,07	23,02	30,00	35,77
<b>S<sub>m</sub> (m/km)</b>	16,30	9,40	21,28	7,40	13,40	29,39	7,92
<b>D<sub>d</sub> (m/km<sup>2</sup>)</b>	170,71	158,76	156,12	125,74	126,79	150,64	150,73
<b>P<sub>med</sub> (mm)</b>	1672,44	1642,59	1446,28	1187,06	1134,69	1282,81	1338,94
<b>P<sub>max</sub> (mm)</b>	4401,33	4068,92	3266,34	2482,23	2282,63	2747,86	2855,16
<b>P<sub>max</sub> (Diária) (mm)</b>	160,27	160,40	414,86	98,82	92,13	315,37	264,86

## 6.6 – Resultado dos Testes das Distribuições de Probabilidade e Análise de Regressões

As distribuições de probabilidade investigadas aqui foram as mais usualmente aplicadas na hidrologia (Kite, 1977; Tucci, 2002), sendo que para as vazões máximas foram



testadas as distribuições de probabilidade, Gumbel, Gama, Pearson Tipo III e a Log-Normal. Já para as vazões médias foram testadas a Normal, Gama e a Pearson Tipo III. O teste de aderência utilizado para seleção da distribuição ajustável às frequências de cada série histórica foi o de Kolmogorov-Simirnov, com nível de significância de 5%.

### 6.6.1 – Vazões Máximas

Para as regressões simples e múltipla das vazões máximas, foram consideradas as variáveis hidrológicas e físicas. Como variáveis hidrológicas foram escolhidas a vazão  $Q_T$ , para diferentes períodos de retorno, as vazões  $Q_{2,33}$  (Gumbel) e  $Q_2$  (outras distribuições) com 2,33 e 2 anos de período de retorno respectivamente. Já como variáveis físicas foram escolhidas área da bacia (A), comprimento do rio principal (L), densidade de drenagem ( $D_d$ ), declividade da bacia ( $S_m$ ) e as variáveis climáticas: precipitação média anual, precipitação máxima anual e precipitação máxima média diária. Para os testes de ajustamento das distribuições, considerou-se  $D_t$  como variável de teste e  $D_{c,n,5\%}$  a variável crítica com n anos de dados e 5% de nível de significância.

#### I - Distribuição Gama

A Tabela 6.13 mostra os resultados da distribuição Gama, e como pode ser observado não apresentou rejeições para simulações com vazões máximas para todas as sub-bacias e, portanto, a distribuição pode ser adotada.

**Tabela 6.13 – Teste da distribuição Gama (Vazões Máximas)**

	<b>Acauã</b>	<b>Guarita</b>	<b>SBBA</b>	<b>SBBB</b>	<b>SBBC</b>	<b>Ponte da Batalha</b>	<b>Foz</b>
<b><math>D_t</math></b>	0,0646	0,0590	0,0703	0,0547	0,0564	0,0708	0,0741
<b><math>D_{c,n,5\%}</math></b>	0,1162	0,1162	0,1162	0,1162	0,1162	0,1162	0,1162
<b>Teste <math>H_0</math>:</b>	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita

As Tabelas 6.14 a 6.17 mostram as equações de regressão associadas à distribuição Gama. Conforme a Tabela 6.14, o índice de cheia foi melhor representado pela equação logarítmica. Como pode se ver nas demais Tabelas 6.15 a 6.17 as equações de regressão tanto lineares quanto potenciais apresentam bons resultados, com  $R^2 > 0,99$ . O destaque vai para a equação linear com  $R^2 = 0,9998$  que é associada a todas as variáveis físicas e a precipitação máxima diária. Por outro lado, a equação potencial apresenta duas associações de variáveis com  $R^2 = 0,9999$ , onde a primeira é associada também a todas as variáveis físicas e a precipitação máxima diária e a segunda é associada a todas as variáveis físicas e a precipitação máxima anual. Com relação ao índice de cheia ( $a_T$ ), que é relacionado a um

período de retorno, este apresenta valor de  $R^2 > 0,95$  mostrando também que os resultados são bons, assim como a vazão para diversos períodos de retorno que apresentam  $R^2 > 0,99$ .

**Tabela 6.14 – Equação de Regressão Simples para  $a_T$  (distribuição Gama)**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Logaritma	$R^2$	Equação Potencial	$R^2$
$a_T$	T(anos)	$a_T = 0,3734 \ln T + 1,1278$	0,9724	$a_T = 1,3826 T^{0,1524}$	0,9508

**Tabela 6.15 – Equações de Regressões entre Vazões Máximas e Área para diferentes períodos de retorno (distribuição Gama)**

T (anos)	Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Logaritma	$R^2$	Equação Potencial	$R^2$
2	$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_2 = 227,28 \ln A - 1459,1$	0,9106	$Q_2 = 0,2033 A^{0,9014}$	0,9968
5	$Q_5(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_5 = 374,92 \ln A - 2406,1$	0,9283	$Q_5 = 0,3101 A^{0,911}$	0,9985
10	$Q_{10}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{10} = 472,74 \ln A - 3033,4$	0,9350	$Q_{10} = 0,3785 A^{0,9149}$	0,9989
50	$Q_{50}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{50} = 565,32 \ln A - 3627,1$	0,9396	$Q_{50} = 0,4422 A^{0,9178}$	0,9991
100	$Q_{100}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{100} = 683,14 \ln A - 4382,5$	0,9440	$Q_{100} = 0,5221 A^{0,9206}$	0,9993
200	$Q_{200}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{200} = 770,15 \ln A - 4940,4$	0,9466	$Q_{200} = 0,5805 A^{0,9223}$	0,9993
500	$Q_{500}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{500} = 968,33 \ln A - 6211$	0,9510	$Q_{500} = 0,7117 A^{0,9254}$	0,9993

**Tabela 6.16 – Equações de Regressões Lineares Múltiplas para  $Q_2$  (distribuição Gama)**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Linear	$R^2$
$Q_2(m^3/s)$	A(km); L(km); S(m/km); Dd(m/km <sup>2</sup> ); P <sub>maxanual</sub> (mm)	$Q_2 = 0,09968A + 0,35366L - 0,23567S - 3,67423Dd + 0,01970P + 414,824$	0,9995
$Q_2(m^3/s)$	A(km); L(km); S(m/km); Dd(m/km <sup>2</sup> ); P <sub>maxdiária</sub> (mm)	$Q_2 = 0,09731A + 0,26976L - 0,12743S - 2,14088Dd - 0,07401P + 278,739$	0,9998
$Q_2(m^3/s)$	A(km); L(km); S(m/km); Dd(m/km <sup>2</sup> )	$Q_2 = 0,09586A + 0,31166L - 0,57638S - 2,26886Dd + 292,543$	0,9994
$Q_2(m^3/s)$	A(km); L(km); S(m/km)	$Q_2 = 0,08593A + 0,00154L - 0,47316S + 15,060$	0,9940
$Q_2(m^3/s)$	A(km); L(km)	$Q_2 = 0,08533A - 0,00214L + 10,789$	0,9937
$Q_2(m^3/s)$	A(km); Dd(m/km <sup>2</sup> )	$Q_2 = 0,08878A - 0,79700Dd + 113,935$	0,9956
$Q_2(m^3/s)$	A(km); P <sub>maxdiária</sub> (mm)	$Q_2 = 0,08884A - 0,10077P + 17,025$	0,9950
$Q_2(m^3/s)$	A(km); S(m/km)	$Q_2 = 0,08593A - 0,47201S + 15,136$	0,9940
$Q_2(m^3/s)$	A(km); P <sub>maxanual</sub> (mm)	$Q_2 = 0,08656A - 0,01327P + 47,193$	0,9958

**Tabela 6.17 – Equações de Regressões Potenciais Múltiplas para  $Q_2$  (distribuição Gama)**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Potencial	$R^2$
$Q_2(m^3/s)$	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S(m/km); Dd(m/km <sup>2</sup> ); P <sub>maxanual</sub> (mm)	$Q_2 = 1469689,59 A^{1,303} L^{0,177} S^{-0,055} Dd^{-5,833} P^{1,147}$	0,9999
$Q_2(m^3/s)$	A(km); L(km); S(m/km); Dd(m/km <sup>2</sup> ); P <sub>maxdiária</sub> (mm)	$Q_2 = 39,51 A^{1,066} L^{0,071} S^{-0,001} Dd^{-1,315} P^{-0,072}$	0,9999
$Q_2(m^3/s)$	A(km); L(km); S(m/km); Dd(m/km <sup>2</sup> )	$Q_2 = 24,74 A^{1,023} L^{0,074} S^{-0,021} Dd^{-1,219}$	0,9995
$Q_2(m^3/s)$	A(km); L(km); S(m/km)	$Q_2 = 0,19 A^{0,907} L^{-0,006} S^{-0,010}$	0,9964
$Q_2(m^3/s)$	A(km); L(km)	$Q_2 = 0,19 A^{0,905} L^{-0,007}$	0,9963
$Q_2(m^3/s)$	A(km); Dd(m/km <sup>2</sup> )	$Q_2 = 1,56 A^{0,956} Dd^{-0,513}$	0,9978
$Q_2(m^3/s)$	A(km); P <sub>maxdiária</sub> (mm)	$Q_2 = 0,19 A^{0,918} P^{-0,029}$	0,9964
$Q_2(m^3/s)$	A(km); S(m/km)	$Q_2 = 0,19 A^{0,906} S^{-0,011}$	0,9964
$Q_2(m^3/s)$	A(km); P <sub>maxanual</sub> (mm)	$Q_2 = 0,61 A^{0,928} P^{-0,174}$	0,9981

## II - Distribuição Pearson Tipo III

Os resultados da distribuição Pearson III podem ser observados na Tabela 6.18, e mostram que a distribuição foi aceita em todas as sub-bacias para simulações com vazões máximas, podendo ser usada sem nenhuma restrição.

**Tabela 6.18 – Teste da distribuição de Pearson III (Vazões Máximas)**

	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	Ponte da Batalha	Foz
$D_t$	0,0646	0,0700	0,0818	0,0545	0,0543	0,0857	0,0878
$D_{c,n,5\%}$	0,1082	0,1082	0,0992	0,0992	0,0992	0,0992	0,0992
Teste $H_0$ :	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita

As Tabelas 6.19 a 6.22 mostram as equações de regressão associadas à distribuição Pearson tipo III. Como pode se ver, o índice de cheia foi melhor representado pela função logarítmica. As equações de regressão tanto lineares quanto potenciais apresentam bons resultados, com  $R^2 > 0,99$ . Com destaque para a equação linear com  $R^2 = 0,9998$  que é associada a todas as variáveis físicas da bacia e variável climática precipitação máxima média diária. As equações potenciais, que apresentam melhores  $R^2$  (0,9999), são duas, sendo que a primeira está associada a todas as variáveis físicas e a variável climática precipitação máxima média diária e a segunda está associada a todas as variáveis físicas e a variável climática precipitação máxima anual. O índice de cheia ( $a_T$ ), que é relacionado a um período de retorno, apresenta um valor de  $R^2 > 0,94$  mostrando também que os resultados são bons, assim como a vazão para diversos períodos de retorno que apresentam  $R^2 > 0,99$ .

**Tabela 6.19 – Equação de Regressão Simples para  $a_T$  (distribuição Pearson III)**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Logaritma	$R^2$	Equação Potencial	$R^2$
$a_T$	T(anos)	$a_T = 0,3408 \ln T + 1,1639$	0,9712	$a_T = 1,3843 T^{0,1438}$	0,9496

**Tabela 6.20 – Equações de Regressões entre Vazões Máximas e Área para diferentes períodos de retorno (distribuição Pearson III)**

T (anos)	Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Logaritma	$R^2$	Equação Potencial	$R^2$
2	$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_2 = 233,2 \ln A - 1498,2$	0,9068	$Q_2 = 0,2066 A^{0,9021}$	0,9965
5	$Q_5(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_5 = 380,09 \ln A - 2440,1$	0,9264	$Q_5 = 0,3127 A^{0,9114}$	0,9985
10	$Q_{10}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{10} = 473,23 \ln A - 3036,6$	0,9351	$Q_{10} = 0,3785 A^{0,915}$	0,9989
50	$Q_{50}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{50} = 559,33 \ln A - 3587,5$	0,9414	$Q_{50} = 0,4386 A^{0,9176}$	0,9990
100	$Q_{100}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{100} = 666,73 \ln A - 4274,3$	0,9477	$Q_{100} = 0,5127 A^{0,9202}$	0,9989
200	$Q_{200}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{200} = 744,81 \ln A - 4773,3$	0,9513	$Q_{200} = 0,5661 A^{0,9218}$	0,9987
500	$Q_{500}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{500} = 919,55 \ln A - 5889,3$	0,9576	$Q_{500} = 0,6845 A^{0,9246}$	0,9981

**Tabela 6.21 – Equações de Regressões Lineares Múltiplas para  $Q_2$  (distribuição Pearson III)**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Linear	R <sup>2</sup>
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> ); P <sub>maxanual</sub> (mm)	$Q_2 = 0,10044A + 0,29250L - 0,05653S - 3,16798D_d + 0,01150P + 371,962$	0,9997
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> ); P <sub>maxdiária</sub> (mm)	$Q_2 = 0,09929A + 0,23702L + 0,07659S - 2,25334D_d - 0,05471P + 290,408$	0,9998
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> )	$Q_2 = 0,09821A + 0,26800L - 0,25533S - 2,34797D_d + 300,613$	0,9996
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km)	$Q_2 = 0,08794A - 0,05293L - 0,14850S + 13,457$	0,9941
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km)	$Q_2 = 0,08775A - 0,05409L + 12,116$	0,9941
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> )	$Q_2 = 0,09241A - 1,07737D_d + 148,662$	0,9971
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); P <sub>maxdiária</sub> (mm)	$Q_2 = 0,08989A - 0,06153P + 12,951$	0,9943
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); S <sub>m</sub> (m/km)	$Q_2 = 0,08798A - 0,18803S + 10,849$	0,9939
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); P <sub>maxanual</sub> (mm)	$Q_2 = 0,08941A - 0,01795P + 58,484$	0,9974

**Tabela 6.22 – Equações de Regressões Potenciais Múltiplas para  $Q_2$  (distribuição Pearson III)**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Potencial	R <sup>2</sup>
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> ); P <sub>maxanual</sub> (mm)	$Q_2 = 1353830,44A^{1,318}L^{0,178}S^{-0,050}D_d^{-5,899}P^{1,181}$	0,9999
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> ); P <sub>maxdiária</sub> (mm)	$Q_2 = 26,35A^{1,073}L^{0,069}S^{-0,007}D_d^{-1,246}P^{-0,072}$	0,9999
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> )	$Q_2 = 16,50A^{1,030}L^{0,072}S^{-0,028}D_d^{-1,150}$	0,9995
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km)	$Q_2 = 0,17A^{0,920}L^{-0,003}S^{-0,018}$	0,9968
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km)	$Q_2 = 0,16A^{0,916}L^{-0,005}$	0,9967
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> )	$Q_2 = 1,12A^{0,963}D_d^{-0,464}$	0,9979
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); P <sub>maxdiária</sub> (mm)	$Q_2 = 0,17A^{0,934}P^{-0,036}$	0,9969
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); S <sub>m</sub> (m/km)	$Q_2 = 0,16A^{0,920}S^{-0,018}$	0,9968
$Q_2$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); P <sub>maxanual</sub> (mm)	$Q_2 = 0,48A^{0,938}P^{-0,156}$	0,9981

### III - Distribuição Log-Normal

A Tabela 6.23 abaixo mostra os resultados do teste com a distribuição Log-Normal, e conforme pode ser observado, o teste não apresentou rejeições para as simulações de vazões máximas em todas as bacias podendo, portanto, ser utilizada sem restrições.

**Tabela 6.23 – Teste da distribuição Log-Normal (Vazões Máximas)**

	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	Ponte da Batalha	Foz
<b>D<sub>t</sub></b>	0,0954	0,0573	0,0774	0,0722	0,0857	0,0643	0,0665
<b>D<sub>c,n,5%</sub></b>	0,1039	0,1039	0,1039	0,1039	0,1039	0,1039	0,1039
<b>Teste H<sub>0</sub>:</b>	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita

As Tabelas 6.24 a 6.27 abaixo mostram as equações de regressão associadas à distribuição Log-Normal. Como pode se ver, o índice de cheia é melhor representado pela função logarítmica, com R<sup>2</sup> = 0,9755. As equações de regressão tanto lineares quanto potenciais apresentam bons resultados, com R<sup>2</sup> > 0,91. O destaque fica com a equação linear,

com  $R^2 = 0,9998$  que é associada a todas as variáveis físicas da bacia e a variável climática precipitação máxima média diária, assim como a equação potencial que apresenta melhor  $R^2$  (0,9879) também está associada a todas as variáveis físicas da bacia e a variável climática precipitação máxima média diária. Com relação à vazão para diversos períodos de retorno, os resultados são bons, tendo em vista, que apresentam  $R^2 > 0,91$ .

**Tabela 6.24 – Equação de Regressão Simples para  $a_T$  (distribuição Log-Normal)**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Logaritma	$R^2$	Equação Potencial	$R^2$
$a_T$	T(anos)	$a_T=0,5119nT + 0,8002$	0,9755	$a_T=1,24625T^{0,1944}$	0,9633

**Tabela 6.25 – Equações de Regressões entre Vazões Máximas e Área para diferentes períodos de retorno (distribuição Log-Normal)**

T (anos)	Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Logaritma	$R^2$
2	$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_2 = 0,216LnA - 1,3867$	0,9132
5	$Q_5(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_5 = 0,34478LnA - 2,212$	0,9288
10	$Q_{10}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{10} = 0,4473LnA - 2,8705$	0,9344
50	$Q_{50}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{50} = 0,5584LnA - 3,5828$	0,9380
100	$Q_{100}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{100} = 0,7207LnA - 4,6241$	0,9412
200	$Q_{200}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{200} = 0,8567LnA - 5,4964$	0,9429
500	$Q_{500}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{500} = 1,222LnA - 7,8393$	0,9455

**Tabela 6.26 – Equações de Regressões Lineares Múltiplas para  $Q_2$  (distribuição Log-Normal)**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Linear	$R^2$
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km); D_d(m/km^2); P_{maxanual}(mm)$	$Q_2 = 0,0000941A+0,000323L-0,000179S-0,00338Dd+0,000019P+ 0,379$	0,9995
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km); D_d(m/km^2); P_{maxdiária}(mm)$	$Q_2 = 0,000092A+0,00024L+0,000082S-0,0019Dd-0,00007P+ 0,249$	0,9998
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km); D_d(m/km^2)$	$Q_2 = 0,00009A+0,00028L-0,00051S-0,0020Dd+0,262$	0,9994
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km)$	$Q_2 = 0,000082A-0,000006L-0,00042S+0,0142$	0,9946
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km)$	$Q_2 = 0,000081A-0,0000025L+0,0104$	0,9944
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); D_d(m/km^2)$	$Q_2 = 0,000084A-0,00069Dd+0,100$	0,9960
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); P_{maxdiária}(mm)$	$Q_2 = 0,000084A-0,000093P+0,0164$	0,9956
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); S_m(m/km)$	$Q_2 = 0,000082A-0,00041S+0,014$	0,9946
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); P_{maxanual}(mm)$	$Q_2 = 0,000082A-0,000012P+0,0424$	0,9962

**Tabela 6.27 – Equações de Regressões Potenciais Múltiplas para  $Q_2$  (distribuição Log-Normal)**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equações Potencial	$R^2$
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km); D_d(m/km^2); P_{maxanual}(mm)$	$Q_2 = 82,77A^{0,363}L^{0,068}S^{-0,039}D_d^{-1,493}P^{0,039}$	0,9861
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km); D_d(m/km^2); P_{maxdiária}(mm)$	$Q_2 = 45,56A^{0,333}L^{0,065}S^{-0,051}D_d^{-1,291}P^{0,035}$	0,9879
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km); D_d(m/km^2)$	$Q_2 = 57,14A^{0,354}L^{0,064}S^{-0,042}D_d^{-1,337}$	0,9861
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km)$	$Q_2 = 0,27A^{0,226}L^{-0,023}S^{-0,030}$	0,9261
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km)$	$Q_2 = 0,267A^{0,219}L^{-0,025}$	0,9216
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); D_d(m/km^2)$	$Q_2 = 5,16A^{0,291}D_d^{-0,727}$	0,9607
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); P_{maxdiária}(mm)$	$Q_2 = 0,24A^{0,191}P^{0,049}$	0,9183
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); S_m(m/km)$	$Q_2 = 0,27A^{0,224}S^{-0,034}$	0,9189
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); P_{maxanual}(mm)$	$Q_2 = 1,21A^{0,248}P^{-0,229}$	0,9638

#### IV - Distribuição Gumbel

Os resultados da distribuição Gumbel podem ser observados na Tabela 6.28, e mostram que a distribuição foi aceita em todas as bacias para simulações com vazões máximas, e desta forma a distribuição pode ser usada.

**Tabela 6.28 – Teste de ajustamento da distribuição Gumbel (Vazões Máximas)**

	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	Ponte da Batalha	Foz
$D_t$	0,0725	0,0790	0,0791	0,0521	0,0525	0,0813	0,0862
$D_{c,n,5\%}$	0,1089	0,1089	0,1089	0,1089	0,1089	0,1089	0,1089
Teste $H_0$ :	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita

As Tabelas 6.29 a 6.32 mostram as equações de regressão associadas à distribuição Gumbel. Como pode se ver, o índice de cheia é melhor representado pela função logarítmica, apresentado um  $R^2 = 0,9732$ , o que mostra que os resultados são bons. As equações de regressão tanto lineares quanto potenciais apresentam bons resultados, com  $R^2 > 0,99$ . O destaque vai para a equação linear com  $R^2 = 0,9998$  que é associada a todas as variáveis físicas da bacia e a variável climática precipitação máxima média diária. Já as equações potenciais que apresentam melhor  $R^2$  (0,9999), são duas, onde a primeira está associada a todas as variáveis físicas e a variável climática precipitação máxima anual e a segunda está associada a todas as variáveis físicas e a variável climática precipitação máxima média diária. A vazão para diversos períodos de retorno também apresenta bons resultados já que os  $R^2 > 0,91$ .

**Tabela 6.29 – Equação de Regressão Simples para  $a_T$  (distribuição Gumbel)**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Logaritma	$R^2$	Equação Potencial	$R^2$
$a_T$	T(anos)	$a_T = 0,3595 \ln T + 1,0354$	0,9732	$a_T = 1,2865T^{0,1556}$	0,9528

**Tabela 6.30 – Equações de Regressões entre Vazões Máximas e Área para diferentes períodos de retorno (distribuição Gumbel)**

T (anos)	Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Logaritma	R <sup>2</sup>	Equação Potencial	R <sup>2</sup>
2	Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> )	Q <sub>2,33</sub> = 250,38LnA - 1607,1	0,9191	Q <sub>2,33</sub> = 0,216A <sup>0,9058</sup>	0,9977
5	Q <sub>5</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> )	Q <sub>5</sub> = 386,67LnA - 2481,3	0,9315	Q <sub>5</sub> = 0,3151A <sup>0,9128</sup>	0,9987
10	Q <sub>10</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> )	Q <sub>10</sub> = 488,05LnA - 3131,6	0,9359	Q <sub>10</sub> = 0,389A <sup>0,9155</sup>	0,9989
50	Q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> )	Q <sub>50</sub> = 585,3LnA - 3755,3	0,9387	Q <sub>50</sub> = 0,4601A <sup>0,9172</sup>	0,9991
100	Q <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> )	Q <sub>100</sub> = 711,18LnA - 4562,7	0,9410	Q <sub>100</sub> = 0,5522A <sup>0,9187</sup>	0,9992
200	Q <sub>200</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> )	Q <sub>200</sub> = 805,51LnA - 5167,8	0,9423	Q <sub>200</sub> = 0,6212A <sup>0,9195</sup>	0,9992
500	Q <sub>500</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> )	Q <sub>500</sub> = 1023,5LnA - 6565,9	0,9443	Q <sub>500</sub> = 0,7808A <sup>0,9208</sup>	0,9993

**Tabela 6.31 – Equações de Regressões Lineares Múltiplas para Q<sub>2,33</sub> (distribuição Gumbel)**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Linear	R <sup>2</sup>
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> ); P <sub>maxanual</sub> (mm)	Q <sub>2,33</sub> = 0,10723A+0,33792L-0,06554S-3,60594Dd+0,02275P+ 399,658	0,9995
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> ); P <sub>maxdiária</sub> (mm)	Q <sub>2,33</sub> = 0,10439A+0,24404L+0,02715S-1,84425Dd-0,08014P+ 243,484	0,9998
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> )	Q <sub>2,33</sub> = 0,10281A+0,28941L-0,45904S-1,98285Dd+258,433	0,9994
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km)	Q <sub>2,33</sub> = 0,09414A+0,01838L-0,36882S+15,929	0,9960
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km)	Q <sub>2,33</sub> = 0,09367A+0,01551L+12,600	0,9959
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> )	Q <sub>2,33</sub> = 0,09633A-0,61451Dd+93,095	0,9968
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); P <sub>maxdiária</sub> (mm)	Q <sub>2,33</sub> = 0,09713A-0,09917P+19,729	0,9969
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); S <sub>m</sub> (m/km)	Q <sub>2,33</sub> = 0,09412A-0,35509S+16,835	0,9960
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); P <sub>maxanual</sub> (mm)	Q <sub>2,33</sub> = 0,09464A-0,010447P+42,202	0,9969

**Tabela 6.32 – Equações de Regressões Potenciais Múltiplas para Q<sub>2,33</sub> (distribuição Gumbel)**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Potencial	R <sup>2</sup>
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> ); P <sub>maxanual</sub> (mm)	Q <sub>2,33</sub> = 1537747,96A <sup>1,304</sup> L <sup>0,178</sup> S <sup>0,054</sup> Dd <sup>-5,853</sup> P <sup>1,150</sup>	0,9999
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> ); P <sub>maxdiária</sub> (mm)	Q <sub>2,33</sub> = 40,33A <sup>1,066</sup> L <sup>0,0723</sup> S <sup>-0,001</sup> Dd <sup>-1,325</sup> P <sup>-0,072</sup>	0,9999
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> )	Q <sub>2,33</sub> = 25,24A <sup>1,024</sup> L <sup>0,074</sup> S <sup>-0,021</sup> Dd <sup>-1,228</sup>	0,9995
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km)	Q <sub>2,33</sub> = 0,18A <sup>0,906</sup> L <sup>-0,006</sup> S <sup>-0,011</sup>	0,9963
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km)	Q <sub>2,33</sub> = 0,18A <sup>0,904</sup> L <sup>-0,007</sup>	0,9963
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> )	Q <sub>2,33</sub> = 1,55A <sup>0,956</sup> Dd <sup>-0,517</sup>	0,9978
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); P <sub>maxdiária</sub> (mm)	Q <sub>2,33</sub> = 0,19A <sup>0,918</sup> P <sup>-0,029</sup>	0,9964
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); S <sub>m</sub> (m/km)	Q <sub>2,33</sub> = 0,18A <sup>0,906</sup> S <sup>-0,012</sup>	0,9963
Q <sub>2,33</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); P <sub>maxanual</sub> (mm)	Q <sub>2,33</sub> = 0,61A <sup>0,928</sup> P <sup>-0,176</sup>	0,9981

## 6.6.2 – Vazões Médias

Para as regressões simples e múltipla das vazões médias, assim como nas máximas, foram consideradas as seguintes variáveis hidrológicas e físicas: como variáveis hidrológicas a vazão Q<sub>T</sub>, para diferentes períodos de retorno, a vazão Q<sub>2</sub> com 2 anos de período de retorno. Já como variáveis físicas, área da bacia (A), comprimento do rio principal (L), densidade de

drenagem ( $D_d$ ), declividade da bacia ( $S_m$ ) e a variável climática precipitação média anual. Para os testes de ajustamento das distribuições, considerou-se  $D_t$  como variável de teste e  $D_{c,n,5\%}$  a variável crítica com n anos de dados e 5% de nível de significância.

### I - Distribuição Gama

A Tabela 6.33 mostra os resultados da distribuição Gama para vazões médias. Como pode ser observado ocorreu apenas uma rejeição em Acauã. Em todas as outras bacias a distribuição Gama foi aceita. Apesar da rejeição em Acauã, a distribuição pode ser adotada haja vista a pequena diferença entre a variável crítica e a de teste.

**Tabela 6.33 – Teste da distribuição Gama (Vazões Médias)**

	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	Ponte da Batalha	Foz
$D_t$	0,1188	0,1250	0,1174	0,0622	0,0571	0,0767	0,0870
$D_{c,n,5\%}$	0,1162	0,1592	0,1592	0,1592	0,1162	0,1162	0,1162
Teste $H_0$ :	Rejeitada	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita

As Tabelas 6.34 a 6.36 mostram as equações de regressão associadas à distribuição Gama. Como pode se ver as equações de regressão tanto lineares quanto potenciais apresentam bons resultados, com  $R^2 > 0,92$ . O destaque fica por conta da equação linear com  $R^2 = 0,9992$  que é associada a todas as variáveis físicas da bacia e a variável climática precipitação média. Já a equação potencial também associada a todas as variáveis física e a precipitação média é a que apresenta melhor  $R^2$  (0,9996). Com relação às vazões para diversos períodos de retorno que apresentam  $R^2 > 0,76$ , os resultados também foram considerados bons.

**Tabela 6.34 – Equações de Regressões entre Vazões Médias e Área para diferentes períodos de retorno (distribuição Gama)**

T (anos)	Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Logaritma	$R^2$	Equação Potencial	$R^2$
2	$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_2 = 10,368LnA - 68,085$	0,7631	$Q_2 = 0,0039A^{0,9902}$	0,9692
5	$Q_5(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_5 = 19,859LnA - 129,53$	0,8220	$Q_5 = 0,0091A^{0,9707}$	0,9832
10	$Q_{10}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{10} = 26,572LnA - 172,86$	0,8440	$Q_{10} = 0,0132A^{0,9633}$	0,9874
50	$Q_{50}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{50} = 33,144LnA - 215,2$	0,8597	$Q_{50} = 0,0173A^{0,9582}$	0,9899
100	$Q_{100}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{100} = 41,748LnA - 270,57$	0,8742	$Q_{100} = 0,023A^{0,9532}$	0,9920
200	$Q_{200}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{200} = 48,242LnA - 312,32$	0,8826	$Q_{200} = 0,0274A^{0,9503}$	0,9931
500	$Q_{500}(m^3/s)$	$A(km^2)$	$Q_{500} = 63,39LnA - 409,59$	0,8970	$Q_{500} = 0,038A^{0,9452}$	0,9947



**Tabela 6.35 – Equações de Regressões Lineares Múltiplas para  $Q_2$  (distribuição Gama)**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Linear	R <sup>2</sup>
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km); D_d(m/km^2); P_{med}(mm)$	$Q_2 = 0,00572A + 0,03588L - 0,12766S - 0,30511Dd - 0,00451P + 42,431$	0,9992
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km); D_d(m/km^2)$	$Q_2 = 0,00593A + 0,03997L - 0,10391S - 0,39342Dd + 47,787$	0,9991
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km)$	$Q_2 = 0,00421A - 0,01380L - 0,08601S - 0,329$	0,9336
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km)$	$Q_2 = 0,00410A - 0,01447L - 1,105$	0,9304
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); D_d(m/km^2)$	$Q_2 = 0,00499A - 0,20527Dd + 24,676$	0,9725
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); P_{med}(mm)$	$Q_2 = 0,00452A - 0,01336P + 14,743$	0,9762
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); S_m(m/km)$	$Q_2 = 0,00422A - 0,09632S - 1,009$	0,9257

**Tabela 6.36 – Equações de Regressões Potenciais Múltiplas para  $Q_2$  (distribuição Gama)**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Potencial	R <sup>2</sup>
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km); D_d(m/km^2); P_{med}(mm)$	$Q_2 = 261683543984,05A^{2,033}L^{0,482}S^{0,217}Dd^{-15,986}P^{5,140}$	0,9996
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km); D_d(m/km^2)$	$Q_2 = 4694,35A^{1,353}L^{0,143}S^{-0,035}Dd^{-3,500}$	0,9993
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km)$	$Q_2 = 0,003863A^{1,019}L^{-0,086}S^{-0,005}$	0,9791
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); L(km)$	$Q_2 = 0,003852A^{1,018}L^{-0,086}$	0,9790
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); D_d(m/km^2)$	$Q_2 = 21,80A^{1,224}Dd^{-2,128}$	0,9943
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); P_{med}(mm)$	$Q_2 = 5,88A^{1,119}P^{-1,172}$	0,9963
$Q_2(m^3/s)$	$A(km^2); S_m(m/km)$	$Q_2 = 0,0033134A^{1,010}S^{-0,019}$	0,9743

## II - Distribuição Pearson Tipo III

Os resultados da distribuição Pearson III podem ser observados na Tabela 6.37, e mostram que a distribuição foi aceita em todas as sub-bacias para simulações com vazões médias, assim como ocorreu no caso de vazões máximas, podendo ser usada sem nenhuma restrição.

**Tabela 37 – Teste da distribuição Pearson III (Vazões Médias)**

	ACAUÃ	GUARITA	SBBA	SBBB	SBBC	Ponte da Batalha	FOZ
<b>D<sub>t</sub></b>	0,1188	0,1093	0,0932	0,0789	0,0597	0,0724	0,0832
<b>D<sub>c,n,5%</sub></b>	0,1405	0,1405	0,1405	0,1405	0,1405	0,1405	0,1405
<b>Teste H<sub>0</sub>:</b>	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita	Aceita

As Tabelas 6.38 a 6.40 mostram as equações de regressão associadas à distribuição Pearson III. Como pode se ver, as equações de regressão tanto lineares quanto potenciais apresentam bons resultados, com  $R^2 > 0,91$ . O destaque vai para as duas equações lineares, com  $R^2 = 0,9987$ . Onde a primeira é associada a todas as variáveis físicas da bacia e a variável climática precipitação média e a segunda é associada a todas as variáveis físicas da bacia. Já a equação potencial também associada a todas as variáveis física e a precipitação média é a que apresenta melhor  $R^2$  (0,9997). Com relação às vazões para diversos períodos de retorno que apresentam,  $R^2 > 0,75$  os resultados também foram considerados bons.

**Tabela 6.38 – Equações de Regressões entre Vazões Médias e Área para diferentes períodos de retorno (distribuição Pearson III)**

T (anos)	Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Logaritma	R <sup>2</sup>	Equação Potencial	R <sup>2</sup>
2	Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> )	Q <sub>2</sub> = 10,179LnA - 66,936	0,7524	Q <sub>2</sub> = 0,0035A <sup>1,0001</sup>	0,9667
5	Q <sub>5</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> )	Q <sub>5</sub> = 19,603LnA - 128,01	0,8133	Q <sub>5</sub> = 0,0084A <sup>0,9782</sup>	0,9812
10	Q <sub>10</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> )	Q <sub>10</sub> = 19,603LnA - 128,01	0,8403	Q <sub>10</sub> = 0,0127A <sup>0,9666</sup>	0,9865
50	Q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> )	Q <sub>50</sub> = 33,234LnA - 215,78	0,8595	Q <sub>50</sub> = 0,0175A <sup>0,9577</sup>	0,9898
100	Q <sub>100</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> )	Q <sub>100</sub> = 42,216LnA - 273,43	0,8779	Q <sub>100</sub> = 0,0243A <sup>0,9487</sup>	0,9927
200	Q <sub>200</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> )	Q <sub>200</sub> = 49,054LnA - 317,25	0,8885	Q <sub>200</sub> = 0,0298A <sup>0,9432</sup>	0,9942
500	Q <sub>500</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> )	Q <sub>500</sub> = 65,142LnA - 420,17	0,9062	Q <sub>500</sub> = 0,0436A <sup>0,9332</sup>	0,9963

**Tabela 6.39 – Equações de Regressões Lineares Múltiplas para Q<sub>2</sub> (distribuição Pearson III)**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Linear	R <sup>2</sup>
Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> ); P <sub>med</sub> (mm)	Q <sub>2</sub> = 0,00601A+0,04637L-0,10730S-0,43178Dd+0,00068P+ 51,482	0,9987
Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> )	Q <sub>2</sub> = 0,00598A+0,04575L-0,11088S-0,41846Dd+50,674	0,9987
Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km)	Q <sub>2</sub> = 0,00415A-0,01144L-0,09184S-0,503	0,9229
Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km)	Q <sub>2</sub> = 0,00403A-0,01216L-1,333	0,9191
Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> )	Q <sub>2</sub> = 0,00491A-0,20293Dd+24,276	0,9636
Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); P <sub>med</sub> (mm)	Q <sub>2</sub> = 0,00446A-0,01339P+14,682	0,9688
Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); S <sub>m</sub> (m/km)	Q <sub>2</sub> = 0,00416A-0,10039S-1,067	0,9173

**Tabela 6.40 – Equações de Regressões Potenciais Múltiplas para Q<sub>2</sub> (distribuição Pearson III)**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Potencial	R <sup>2</sup>
Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> ); P <sub>med</sub> (mm)	Q <sub>2</sub> = 426773573976,02A <sup>2,052</sup> L <sup>0,499</sup> S <sup>0,226</sup> Dd <sup>-16,388</sup> P <sup>5,317</sup>	0,9997
Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> )	Q <sub>2</sub> = 4139,92A <sup>1,349</sup> L <sup>0,150</sup> S <sup>-0,035</sup> Dd <sup>-3,472</sup>	0,9994
Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km)	Q <sub>2</sub> = 0,003821A <sup>1,017</sup> L <sup>-0,078</sup> S <sup>-0,005</sup>	0,9794
Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km)	Q <sub>2</sub> = 0,003812A <sup>1,016</sup> L <sup>-0,078</sup>	0,9794
Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> )	Q <sub>2</sub> = 15,32A <sup>1,215</sup> Dd <sup>-2,041</sup>	0,9939
Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); P <sub>med</sub> (mm)	Q <sub>2</sub> = 4,709A <sup>1,115</sup> P <sup>-1,136</sup>	0,9963
Q <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); S <sub>m</sub> (m/km)	Q <sub>2</sub> = 0,003161A <sup>1,009</sup> S <sup>-0,017</sup>	0,9755

### 6.6.3 – Vazão Mínima

Para as vazões mínimas no cálculo das regressões simples e múltipla, foram consideradas as vazões com 95% de garantia, extraídas das curvas de permanência para cada sub-bacia, correlacionadas com variáveis físicas: área da bacia (A), comprimento do rio principal (L), densidade de drenagem (D<sub>d</sub>), declividade da bacia (S<sub>m</sub>) e climática precipitação média anual.

As Tabelas 6.41 e 6.42 mostram as equações de regressão múltiplas associadas à vazão com 95% de garantia. Como pode se ver abaixo, as equações de regressão tanto lineares quanto potenciais apresentam bons resultados (R<sup>2</sup> > 0,86). O destaque fica por conta da

equação linear onde  $R^2 = 0,9993$ , que é associada a todas as variáveis físicas da bacia e a variável climática precipitação média. Já a equação potencial associada a todas as variáveis física e a precipitação média é a que apresenta melhor  $R^2$  (0,9987).

**Tabela 6.41 – Equações de Regressões Lineares Múltiplas para  $Q_{95\%}$**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Linear	$R^2$
$Q_{95\%}(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km); D_d(m/km^2); P_{med}(mm)$	$Q_{95\%} = 0,00161A + 0,00509L - 0,08397S - 0,00203D_d + 0,00777P + 9,799$	0,9993
$Q_{95\%}(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km); D_d(m/km^2)$	$Q_{95\%} = 0,00197A + 0,01214L - 0,04306S - 0,15412D_d + 19,024$	0,9975
$Q_{95\%}(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km)$	$Q_{95\%} = 0,00129A - 0,00893L - 0,03605S + 0,175$	0,8967
$Q_{95\%}(m^3/s)$	$A(km^2); L(km)$	$Q_{95\%} = 0,00125A - 0,00921L - 0,150$	0,8910
$Q_{95\%}(m^3/s)$	$A(km^2); D_d(m/km^2)$	$Q_{95\%} = 0,00167A - 0,09721D_d + 11,927$	0,9697
$Q_{95\%}(m^3/s)$	$A(km^2); P_{med}(mm)$	$Q_{95\%} = 0,00144A - 0,00611P + 6,949$	0,9696
$Q_{95\%}(m^3/s)$	$A(km^2); S_m(m/km)$	$Q_{95\%} = 0,00130A - 0,04272S - 0,265$	0,8631

**Tabela 6.42 – Equações de Regressões Potenciais Múltiplas para  $Q_{95\%}$**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Potencial	$R^2$
$Q_{95\%}(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km); D_d(m/km^2); P_{med}(mm)$	$Q_{95\%} = 439603582896,89A^{1,851}L^{0,355}S^{0,100}D_d^{-12,679}P^{2,939}$	0,9987
$Q_{95\%}(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km); D_d(m/km^2)$	$Q_{95\%} = 16374072,55A^{1,463}L^{0,162}S^{-0,044}D_d^{-5,540}$	0,9986
$Q_{95\%}(m^3/s)$	$A(km^2); L(km); S_m(m/km)$	$Q_{95\%} = 0,003834A^{0,933}L^{-0,201}S^{0,003}$	0,9403
$Q_{95\%}(m^3/s)$	$A(km^2); L(km)$	$Q_{95\%} = 0,003842A^{0,934}L^{-0,201}$	0,9402
$Q_{95\%}(m^3/s)$	$A(km^2); D_d(m/km^2)$	$Q_{95\%} = 38222,26A^{1,316}D_d^{-3,993}$	0,9911
$Q_{95\%}(m^3/s)$	$A(km^2); P_{med}(mm)$	$Q_{95\%} = 1772,86A^{1,109}P^{-2,104}$	0,9921
$Q_{95\%}(m^3/s)$	$A(km^2); S_m(m/km)$	$Q_{95\%} = 0,002348A^{0,913}S^{-0,029}$	0,9102

#### 6.6.4 – Vazão Média de Longo Período

Para as regressões simples e múltiplas das vazões médias de longo período ( $Q_{mlp}$ ), foi considerada a vazão média anual para cada sub-bacia, correlacionadas com as seguintes variáveis físicas: área da bacia (A), comprimento do rio principal (L), densidade de drenagem ( $D_d$ ), declividade da bacia ( $S_m$ ) e com a climática precipitação média anual.

As Tabelas 6.43 e 6.44 mostram as equações de regressão múltiplas associadas à vazão de longo período ( $Q_{mlp}$ ). Como pode se ver abaixo, as equações de regressão tanto lineares quanto potenciais apresentam bons resultados, com  $R^2 > 0,94$ . O destaque fica por conta das duas equações lineares, a primeira associada a todas as variáveis físicas e a variável climática precipitação média e a segunda associada apenas as variáveis físicas, ambas apresentam ( $R^2 = 0,9991$ ). Já com relação às equações potenciais a que apresenta o melhor  $R^2$  (0,9996), é a que está associada a todas as variáveis físicas da bacia e a variável climática precipitação média.

**Tabela 6.43 – Equações de Regressões Lineares Múltiplas para  $Q_{mlp}$**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Linear	R <sup>2</sup>
$Q_{mlp}$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> ); P <sub>med</sub> (mm)	$Q_{mlp} = 0,00669A + 0,03789L - 0,13955S - 0,30370Dd - 0,00479P + 42,811$	0,9991
$Q_{mlp}$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> )	$Q_{mlp} = 0,00691A + 0,04224L - 0,11435S - 0,39738Dd + 48,493$	0,9991
$Q_{mlp}$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> km <sup>2</sup> ); L(km); S(m/km)	$Q_{mlp} = 0,00517A - 0,01208L - 0,09627S - 0,107$	0,9539
$Q_{mlp}$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km)	$Q_{mlp} = 0,00505A - 0,01283L - 0,976$	0,9512
$Q_{mlp}$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> )	$Q_{mlp} = 0,00591A - 0,19865Dd + 24,040$	0,9787
$Q_{mlp}$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); P <sub>med</sub> (mm)	$Q_{mlp} = 0,00546A - 0,01299P + 14,502$	0,9814
$Q_{mlp}$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); S <sub>m</sub> (m/km)	$Q_{mlp} = 0,00518A - 0,10529S - 0,702$	0,9498

**Tabela 6.44 – Equações de Regressões Potenciais Múltiplas para  $Q_{mlp}$**

Var. Dep.	Var. Indep.	Equação Potencial	R <sup>2</sup>
$Q_{mlp}$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> ); P <sub>med</sub> (mm)	$Q_{mlp} = 648595349950,37A^{2,06}L^{0,500}S^{0,230}Dd^{-16,602}P^{5,399}$	0,9996
$Q_{mlp}$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> )	$Q_{mlp} = 4730,86A^{1,346}L^{0,145}S^{-0,035}Dd^{-3,487}$	0,9993
$Q_{mlp}$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km); S <sub>m</sub> (m/km)	$Q_{mlp} = 0,004116A^{1,013}L^{-0,083}S^{-0,005}$	0,9790
$Q_{mlp}$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); L(km)	$Q_{mlp} = 0,004105A^{1,0124}L^{-0,084}$	0,9790
$Q_{mlp}$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); D <sub>d</sub> (m/km <sup>2</sup> )	$Q_{mlp} = 20,79A^{1,216}Dd^{-2,100}$	0,9941
$Q_{mlp}$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); P <sub>med</sub> (mm)	$Q_{mlp} = 5,82A^{1,112}P^{-1,159}$	0,9962
$Q_{mlp}$ (m <sup>3</sup> /s)	A(km <sup>2</sup> ); S <sub>m</sub> (m/km)	$Q_{mlp} = 0,003359A^{1,005}S^{-0,018}$	0,9744

## 6.7 – Regionalização de Parâmetros

Nesta etapa foram regionalizados os parâmetros da curva de permanência e os da distribuição de probabilidade regionalmente aceita em toda a bacia do rio Paraíba - PB. A regionalização da curva de permanência consistiu na construção de mapas de isolíneas dos parâmetros  $a$  e  $b$  da Equação 6.2. Com base nos resultados da presente pesquisa (seções de Acauã, Guarita, SBBA, SBBA, SBBC, Ponte da Batalha e Foz) e dos resultados obtidos por Nunes (2005) para o alto curso do rio Paraíba (seções Boqueirão, Taperoá, Caraúbas, Poço de Pedras, BS5, BS9, BS14, BS25 e BS35), foi possível determinar a vazão com certo nível de garantia em qualquer local da bacia do rio Paraíba. Similarmente, foram construídas isolíneas para os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da distribuição de probabilidade de Gumbel, dada na Equação 6.3, que foi aceita regionalmente em todas as seções do rio Paraíba – PB. Em consequência da regionalização dos parâmetros da distribuição Gama, é possível se obter também, em qualquer local da bacia do rio Paraíba/PB, o índice de cheia dado pela Equação 6.4. Mapas de isolíneas dos parâmetros  $a$ ,  $b$ ,  $\alpha$  e  $\beta$  foram traçados no SURFER e são apresentados nas Figuras 6.3 a 6.6.

$$Q_i = a \cdot N_G^b \quad (6.2)$$

$$Q_T = \alpha \cdot \beta \left[ \left( 1 - \frac{1}{9 \cdot \beta} \right) + Z \cdot \left( \frac{1}{9 \cdot \beta} \right)^{0,5} \right]^3 \quad (6.3)$$

$$a_T = \frac{Q_T}{Q_2} \quad (6.4)$$

onde  $Q_i$  é a vazão ( $m^3/s$ ) com garantia  $i$  (e.g.,  $Q_{95\%}$ ),  $NG (-)$  é o nível de garantia,  $a$  e  $b$  são os parâmetros da função da curva de permanência,  $Q_T$  é a vazão com períodos de retorno  $T$ ,  $\alpha$  e  $\beta$  são os parâmetros da distribuição Gama (equações 6.5 e 6.6), e  $Z$  é definido a partir da distribuição Gama.

$$\beta = \left( \frac{2}{\gamma_1} \right)^2 \quad (6.5)$$

$$\alpha = \frac{\sigma}{\sqrt{\beta}} \quad (6.6)$$

onde  $\sigma$  é o desvio padrão e  $\gamma_1$  é o coeficiente de assimetria.

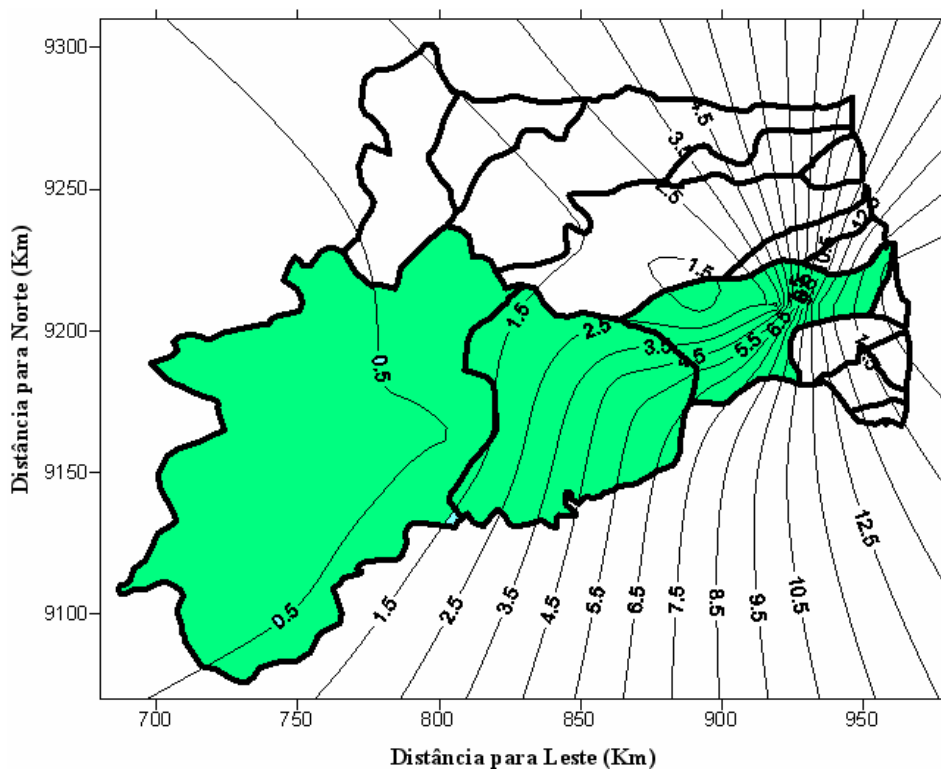
As Tabelas 6.45 e 6.46 abaixo mostram as coordenadas cartesianas dos pontos de medição das sub-bacias selecionadas nessa pesquisa e na pesquisa de Nunes (2005) para a bacia do rio Paraíba/PB. Os parâmetros  $a$  e  $b$  da curva de permanência e  $\alpha$  e  $\beta$  da distribuição Gama utilizados na construção dos mapas de isolíneas também são listados nestas tabelas.

**Tabela 6.45 – Parâmetros da Curva de Permanência – Vazão Média**

X (km)	Y (km)	Nome	a	b
775,73	9145,88	Caraúbas	0,37	-1,23
743,00	9204,00	Taperoá	0,16	-0,95
783,30	9182,21	Poço de Pedras	0,57	-1,04
816,33	9172,83	Boqueirão de Cabaceiras	1,31	-1,03
741,74	9113,05	BS5	0,06	-1,43
739,70	9123,05	BS9	0,05	-1,42
752,73	9146,52	BS14	0,09	-1,33
806,02	9162,84	BS25	0,50	-1,16
766,27	9185,23	BS35	0,34	-1,05
865,00	9180,00	Acauã	5,01	-0,89
892,48	9183,47	Guarita	6,00	-0,84
921,70	9202,43	SBBA	7,80	-0,78
892,54	9207,86	SBBB	1,19	-0,64
919,52	9209,17	SBBC	2,36	-0,62
933,29	9208,82	Ponte da Batalha	12,52	-0,72
955,99	9222,92	Foz	15,50	-0,69

**Tabela 6.46 – Parâmetros da Distribuição Gama – Vazão Máxima**

X (km)	Y (km)	Nome	$\beta$	$\alpha$
775,73	9145,88	Caraúbas	1,96	47,76
743,00	9204,00	Taperoá	2,25	12,87
783,30	9182,21	Poço de Pedras	1,42	64,92
816,33	9172,83	Boqueirão de Cabaceiras	2,28	87,96
741,74	9113,05	BS5	1,49	20,54
739,70	9123,05	BS9	1,59	16,12
752,73	9146,52	BS14	1,54	22,86
806,02	9162,84	BS25	2,10	59,12
766,27	9185,23	BS35	1,23	51,32
865,00	9180,00	Acauã	2,43	176,42
892,48	9183,47	Guarita	2,37	195,92
921,70	9202,43	SBBA	2,45	210,57
892,54	9207,86	SBBB	2,83	28,60
919,52	9209,17	SBBC	2,78	49,33
933,29	9208,82	Ponte da Batalha	2,65	258,58
955,99	9222,92	Foz	2,84	263,05



**Figura 6.3–Mapas de Isolíneas dos parâmetros da Curva de Permanência – Parâmetro a**

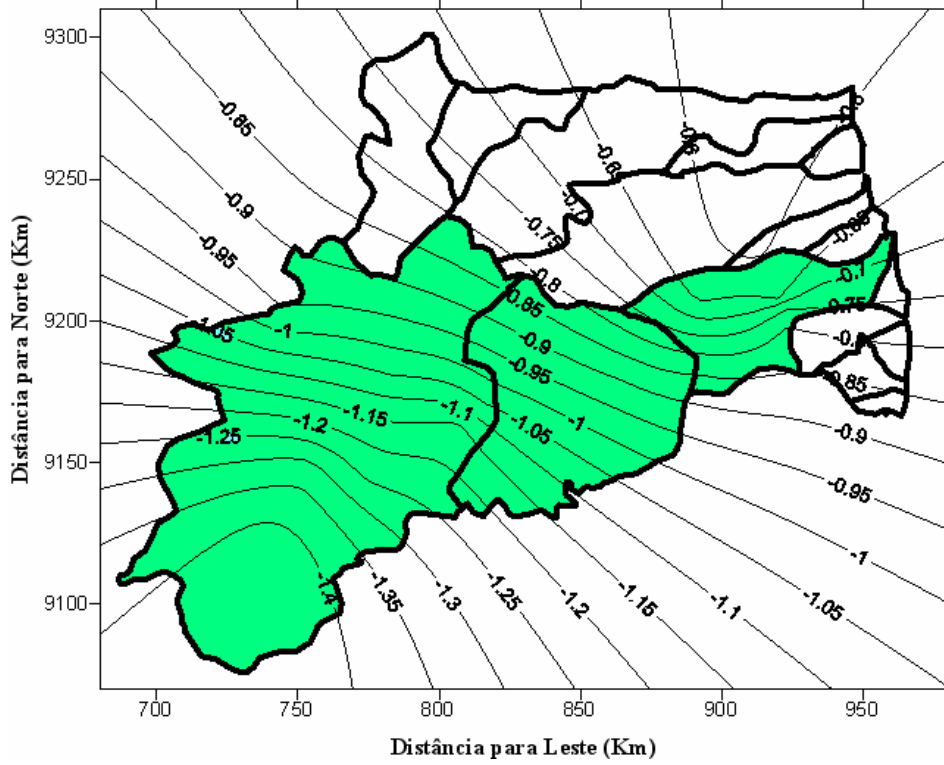


Figura 6.4–Mapas de Isolíneas dos parâmetros da Curva de Permanência – Parâmetro  $b$

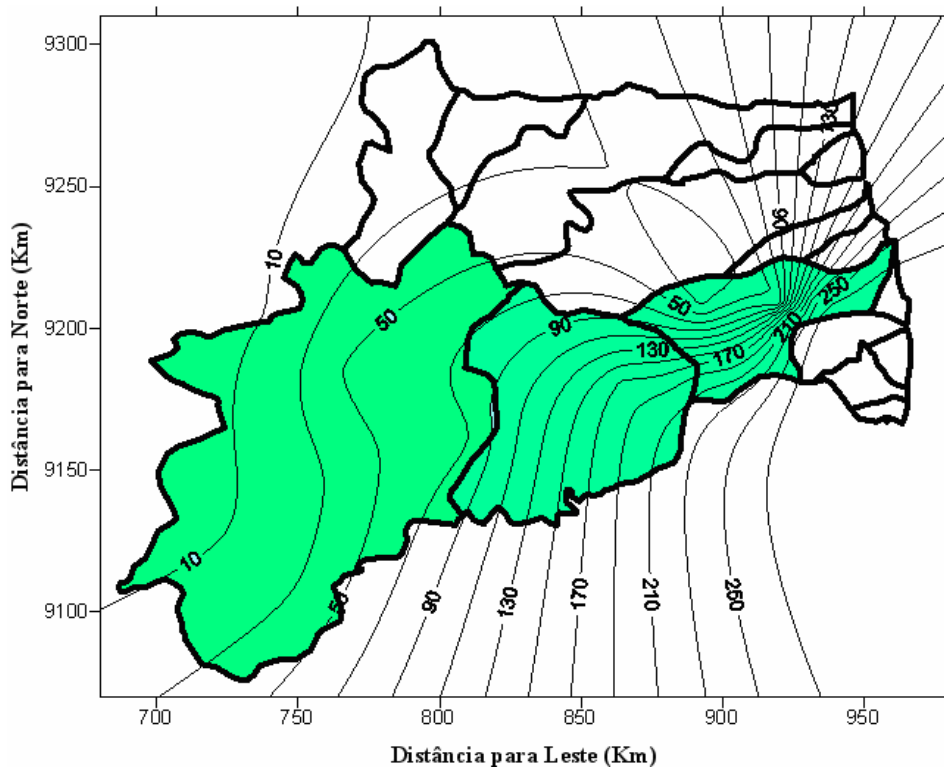
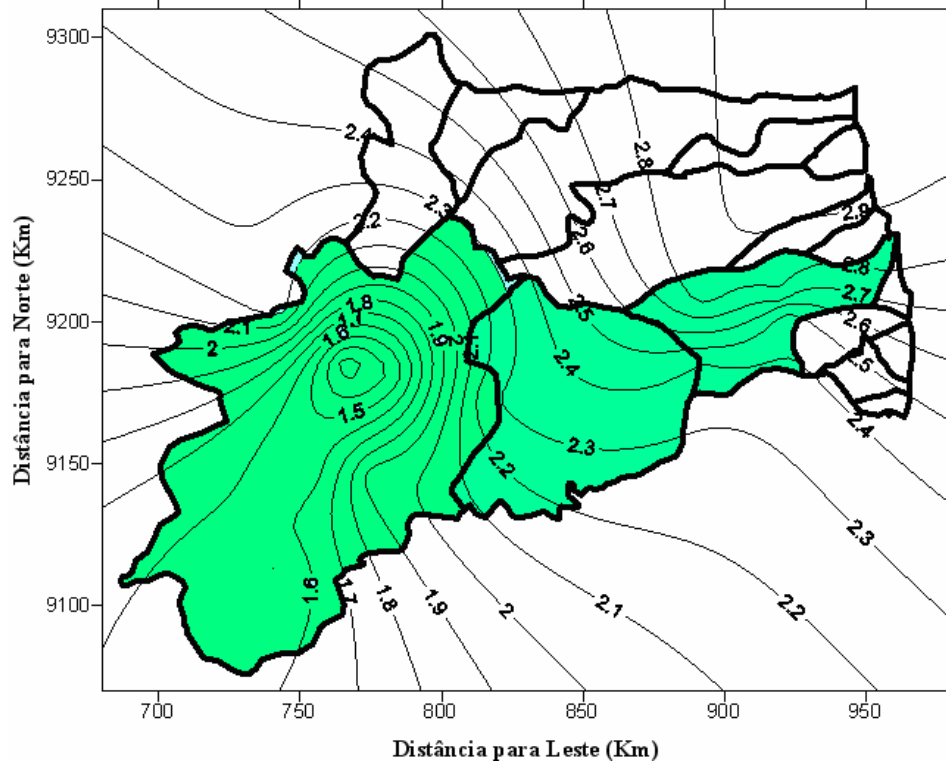


Figura 6.5–Mapas de Isolíneas dos parâmetros da Distribuição Gama - Parâmetro  $\alpha$



**Figura 6.6**–Mapas de Isolíneas dos parâmetros da Distribuição Gama - Parâmetro  $\beta$



## CAPÍTULO 7

### 7.0 – ANÁLISE DOS RESULTADOS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

#### 7.1 – Análise dos Resultados

Diante de toda a massa de resultados aqui apresentados, podemos fazer várias análises dentre elas: a relativa às simulações das séries, análise de consistência e homogeneidade das séries simuladas, teste de ajustamento das distribuições de probabilidade e dos resultados das funções regionais lineares e potenciais obtidas para o índice de cheias ( $a_T$ ) e as vazões com diferentes períodos de retorno  $Q_2$ ,  $Q_{2,33}$ ,  $Q_{95\%}$  e  $Q_{mlp}$ , através da aplicação de regressão simples e múltipla.

As simulações com o modelo distribuído NAVMO nas bacias do médio e baixo rio Paraíba/PB, geraram duas séries principais, que cobrem o período 1911 a 1983, para vazões máximas e médias, para as sub-bacias de Acauã (4.244 km<sup>2</sup>), Guarita (4.843 km<sup>2</sup>), SBBA (5.413,31 km<sup>2</sup>), SBBB (684,09 km<sup>2</sup>), SBBC (1.140,35 km<sup>2</sup>) e Foz (7373 km<sup>2</sup>). Observa-se que só foi possível comparar os resultados observados com os simulados nas bacias de Guarita e Ponte da Batalha que dispunham de dados observados. Desta forma foi possível observar que o modelo representou bem os picos e em alguns anos subestimou as vazões médias. No período sem dados observados, as simulações se mostraram consistentes e sem presença de anomalias, o que foi confirmado nos testes de homogeneidade empregados.

Com relação à análise de homogeneidade e consistência das séries simuladas, o teste da dupla massa mostra que os dados são homogêneos do ponto de vista estatístico, já que as retas obtidas não apresentam mudanças de declividade ou saltos. O teste paramétrico de Student foi rejeitado para SBBB e Ponte da Batalha para vazões máximas e médias respectivamente, já para o teste de Snedecor, a hipótese nula foi aceita em todas as sub-bacias. O teste não-paramétrico de Wilcoxon foi rejeitado em Guarita, SBBA, Ponte da Batalha e Foz, todas para vazões médias.

Os resultados das distribuições de probabilidade mostram que, quase todas as distribuições testadas foram aceitas pelo teste de aderência Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5% tanto para vazões máximas como para médias. A exceção ocorreu no caso da distribuição Normal para vazões médias que foi rejeitada em todas as sub-bacias e para a distribuição Gama que foi rejeitada apenas na bacia de Acauã também para as vazões médias, que mesmo não sendo aceita em Acauã foi usada para determinação das funções regionais.

Desta forma, foram usadas as seguintes distribuições para determinação das funções regionais: Log-Normal, Gama, Gumbel e Pearson tipo III para vazões máximas e Gama e Pearson tipo III para vazões médias.

Como variáveis explicativas ou independentes das equações de regionalização para vazões máximas, médias e mínimas, foram consideradas algumas características físicas e climáticas das bacias, entre elas: como variáveis físicas, área de drenagem ( $A$ ), comprimento do rio principal ( $L$ ), densidade de drenagem ( $D_d$ ) e declividade média da bacia ( $S_m$ ). Já como variáveis climáticas, precipitação máxima anual ( $P_{\max \text{ anual}}$ ) e precipitação máxima diária anual ( $P_{\max \text{ diária}}$ ) para vazão máxima, precipitação média ( $P_{\text{med}}$ ) para vazão média e vazão com 95% de garantia ( $Q_{95\%}$ ) para vazão mínima.

As equações obtidas mostram-se boas com relação aos seus coeficientes de determinação tanto nas equações lineares quanto potenciais, com  $R^2 > 0,85$  e com destaque para as distribuições Gama e Pearson III que apresentam valores de  $R^2 > 0,91$ . Pode-se observar também que a área de drenagem ( $A$ ) e a precipitação máxima anual ( $P_{\max \text{ anual}}$ ) para vazões máximas e a área de drenagem ( $A$ ) e a precipitação média ( $P_{\text{med}}$ ) para vazões médias e mínimas, foram as variáveis independentes que melhor explicaram as regressões, porém quando outras variáveis independentes (e.g, densidade de drenagem, declividade média da bacia) foram introduzidas nas equações, os coeficientes de determinação aumentaram um pouco.

## 7.2 – Conclusões

O objetivo da pesquisa foi o de realizar a regionalização hidrologia nas regiões do médio e baixo rio Paraíba/PB, com parâmetros calibrados e validados para anos normais e úmidos por Lima (2008) para o modelo distribuído NAVMO, para suprir as falhas da rede pluviométrica do médio e baixo rio Paraíba/PB. Desta forma podemos concluir que:

A simulação com o modelo NAVMO gerou duas séries de longo período (1911 a 1983), uma para vazões máximas e outra para vazões médias, onde foi utilizado um banco de dados com 11 postos pluviométricos, os resultados foram, em geral, razoáveis, quando foi possível a comparação com os dados observados. Já o período sem dados observados para comparação não apresentaram nenhuma anomalia aparente, assim como as simulações feitas em locais (Acauã, SBBA, SBBB, SBBC e Foz) sem dados observados.

De acordo com os testes de homogeneidade (dupla massa) e estacionariedade (paramétricos e não paramétricos) as séries simuladas (1911 a 1983) com o modelo

distribuído NAVMO, são homogêneas e, assim, servem como base para os estudos de regionalização na região.

Com base nos resultados e nas análises tanto desta pesquisa quanto dos resultados de Nunes (2005), foi possível eleger a distribuição Gama como regionalmente aceita e estabelecer uma função regional única com parâmetros da distribuição obtidos de gráficos de isolíneas. O mesmo procedimento foi também adotado para a curva de permanência.

Com relação às equações de regressão, tanto para a linear quanto para a potencial, os valores do coeficiente de correlação ( $R^2$ ) mostram que a regressão é mais forte entre a variável física, área de drenagem da bacia ( $A$ ) e as variáveis climáticas, precipitação máxima anual ( $P_{\max \text{ anual}}$ ) para quantificação de vazões máximas e precipitação média ( $P_{\text{med}}$ ), para quantificação das vazões médias e mínimas. É possível observar ainda que quando outras variáveis explanatórias são aplicadas, mas a variação do  $R^2$  é muito pequena.

Os resultados mostram pouca variabilidade na disponibilidade hídrica ao longo das bacias do médio e baixo rio Paraíba/PB, tendo em vista os valores das vazões (máximas e médias) simuladas nas sub-bacias de Acauã (primeira sub-bacia do sistema) e Foz exutório da bacia do rio Paraíba/PB. Assim as equações regionais aqui apresentadas são capazes de representar, razoavelmente bem, as condições hídricas em cada sub-bacia, dando ao gestor uma visão macro do comportamento hidrológico da bacia. Desta forma, servindo como ferramenta de suporte para obtenção de informações úteis ao planejamento e gerenciamento ótimo dos recursos hídricos. Elas auxiliam também, diversos projetos hidráulicos, tais como: barragens, canais, sistema de drenagem, galerias pluviais, projetos de abastecimento de água e irrigação, concessões de outorgas, entre outros.

### **7.3 – Recomendações**

Com base nos resultados aqui apresentados as seguintes recomendações, podem ser feitas:

- Melhorar, a rede hidrométrica do médio e baixo rio Paraíba/PB, aumentando o número de postos fluviométricos e pluviométricos, para que assim seja possível se ter um diagnóstico mais preciso do potencial hídrico da região;
- Avaliar, a influência da presença dos açudes de pequeno, médio e grande porte (e.g., volumes armazenados, defluências, afluências, etc.) que ainda é forte na região, na regionalização, tendo em vista que o modelo NAVMO é capaz de considerar a presença de reservatórios.

- Pode-se ainda fazer um estudo das incertezas na regionalização;
- Fazer uma regionalização geral de todo o rio Paraíba (alto, médio e baixo) e comparar os resultados encontrados, com os resultados desse trabalho e com os do trabalho de Nunes (2005) que estudou o alto rio Paraíba;
- E por fim, a comparação da metodologia apresentada com análise de frequência regional clássica, sem o uso de modelagem hidrológica, como forma de validação deste estudo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA (2004). Relatório de Gestão 2003. CD-ROM. Brasília.
- Aragão, R., Figueiredo, E. E., Srinivasan, V. S. E Góis, R. S. S. (1998). Chuvas Intensas no Estado da Paraíba. Anais V Simp. Rec. Híd. do Nordeste, Vol 2, pg. 74-85.
- Andrede E. M e Hawkins R. H. (2000), Aplicação da função de Andrews na avaliação da regionalização de bacias em regiões áridas e semi-áridas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, V. 5, N. 4. p. 17-24.
- Andrews, D. F. (1972). Plots of high-dimensional data. Biometrics, vol.28 p. 125-36.
- Baena, L. G. N. (2002). Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), UFV, Viçosa- MG, 135 p.
- Barbassa, A. P., Pugliese, P. B., Moreira, J. (2005). Estudo de Enchentes urbanas associando rede de monitoramento densa, SIG e modelo distribuído. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa, PB.
- Batista, M. S. (2006). Análise de incerteza no escoamento simulado com o modelo distribuído NAVMO - Dissertação de mestrado – UAEC/CTRN/UFCG, Campina Grande, PB.
- Braga, A. C. F. M. (2001). Efeitos de Fatores Climáticos e do Uso do Solo sobre o Escoamento em uma Região Semi-Árida da Paraíba. Tese de mestrado, Depto. Enga. Civil, CCT/UFPB, Campina Grande- PB.
- Bussab, W. O., Morettin, P. A. (2004). Estatística Básica. Editora Saraiva, 5a edição. São Paulo.
- Cadier, E. (1996). Hydrologie des Petits Bassins du Nordeste Brèsilien Semi-Aride: Tupologie dès Bassins et Transposition Écoulements Annuels. J. Hydrol., 182: pp117-141.
- Catalunha, M. J. (2002). Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 153-162.
- Chow, V.T. (1964). Hanbook of Applied Hydrology, McGraw Hill Book Company, New York, USA.
- Collischonn, W., Tucci, C. E. M. (2001). Simulação hidrológica de grandes bacias. Tese de doutorado, IPH – UFRS p 194.
- Costa neto, P. O. (1983). Estatística. Editora Edgard Blucher Ltda. São Paulo, SP., 264 p.
- Costa, D. C. (2008). Modelagem do escoamento no sistema Piranhas-Açu para fins de regionalização hidrológica – Dissertação de mestrado – UAEC/CTRN/UFCG, C. Grande, PB.
- Crispim, A. M. C. (2005). Regionalização Hidrológica na Região do Alto rio Piranhas-PB utilizando dados simulados com o Modelo Distribuído. Dissertação de Mestrado. DEC/CCT/UFCG. Campina Grande, PB.
- Crispim, A. M. C., Figueiredo, E. E., Nunes, A. S. O. (2005a). Simulações de vazões na região do alto rio Piranhas - PB como suporte a realização de estudos de regionalização. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005. CD-ROM do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa - PB: ABRH.
- Crispim, A. M. C., Figueiredo, E. E., Nunes, A. S. O. (2005b). Regionalização de vazões na região do alto rio piranhas utilizando dados simulados com o modelo NAVMO. In: XVI

Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005. CD-ROM do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa - PB: ABRH.

Diniz, L. S. (1994). Calibração Automática de modelos Chuva-Vazão usando um algoritmo genético. Campina Grande. Tese ( Mestre em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

Diniz, L. S. Clarke, R. T. (2001). Regionalização de parâmetros de modelo chuva-vazão usando redes neurais. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2001, Aracaju, SE.

Elesbon, A. A. A., Fiorot P., Cesconeto E., Coser M. E Mendonça A. S. F. (2002), Regionalização de Vazões Máximas, Médias e Mínimas para o estado de Espírito Santo visando futura aplicação de SIG em sua automatização. Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste VI, Alagoas, art 64, 17p. CD – ROM.

Eletrobrás (1985). Centrais Elétricas Brasileiras S.A. Metodologia para Regionalização de Vazões. Rio de Janeiro.

Euclides, H. P., Ferreira, P. A., Rubert, O. A. V., Santos, R. M. (2001). Regionalização hidrológica na bacia do alto São Francisco à montante da barragem de Três Marias, Minas Gerais. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, v.6, n. 2, p.81-105.

Euclides, H. P., Ferreira, P. A., Santos, R. M., Faria filho, R. F. (2002). Regionalização Hidrológica na Bacia do Alto e Médio São Francisco, em Minas Gerais. In: Recursos Hídricos e Suporte Tecnológico a Projetos Hidroagrícolas. Viçosa: UFV/ RURALMINAS/ ANA,2002.p1-142 (Boletim Técnico nº6).

Euclides, H. P., Ferreira P. A., Furtado R. F. F. (2004). Regionalização Hidrológica nas Sub-Bacias do Rio Grande, Minas Gerais. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2004, São Luis, MA.

Ewen, J., Parkin, G. (1996). Validation of Catchment Models for Predicting Land Use and Climate Change Impacts – 1. Method. Journal of Hydrology, v. 175, p. 583-594.

Figueiredo, E. E., Overland, H., Kleeberg, H. B. (1991). O Modelo NAVMO de Simulação do Escoamento Superficial. IX Simpósio Bras. de Rec. Hídricos, pp 337-346, Rio de Janeiro.

Figueiredo, E. E., Srinivasan, V. S., Barros, M. G. (1993). Análise do Problema de Enchimento do Açude Público Sumé através do modelo NAVMO. X Simpósio Bras. de Rec. Hídricos, pp 226-235, Gramado.

Figueiredo, E. E. (1998). Scale Effects and Land Use Change Impacts in Sediment Yield Modelling in a Semi-Arid Region of Brazil. PhD Thesis. Univ.de Newcastle upon Tyne, England.

Figueiredo, E. E. Srinivasan, V.S. (1999). Avaliação dos impactos do uso do solo e da influência dos açudes sobre o escoamento para o açude sumé – PB. CDROM do XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte – MG.

Figueiredo, E. E., Braga, A. C. F. M. (2002). Modelling the rainfall-runoff relationship for the Piranhas river basin in the semiarid region of Brazil. In: Flood Defence '2002, Wu et al. (eds)© 2002 SciencePress, New York Ltd., 2: 1129-1136.

Figueiredo, E. E., Lopes, P. L., Braga, A. C. F. M. (2004). Uncertainty in Simulated Runoffs Using The Distributed Model NAVMO.” In: 6th Int. Conf. on Hydroinformatics, Edited by S. Liong, K. K. Phoon & V. Babovic, World Scientific Publishing Company, Singapore, 2: 1783-1790.

Franchini, M., Suppo, M. (1996). Regional analysis of flow duration curves for a limestone

region. *Water Resource Management*. Vol 10, pp. 199-218.

Fonseca, J. S., Martins, G. A., Toledo, G. L. (1978). *Estatística Aplicada*, Editora Atlas S.A – São Paulo – 2ª edição, 273 p.

Fortunato, O. M. (2004). *Simulação hidrológica na bacia do alto Paraíba-PB com efeito da variabilidade do clima*. Dissertação de mestrado. DEC/CCT/UFCG. Campina Grande, PB, 140 p.

Góes, V. C., Campana, N. A. (2001). *Regionalização de vazões do Distrito Federal*. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos XIV, Aracaju, art. 144, 16p CD – ROM.

Hosking, J. R. M., Wallis, J. R. (1993). *Some statistics useful in regional frequency analysis*. In: *Water Resources Research*, American Geophysical Union. V.29, n.1,p. 271-281.

Hosking, J. R. M., Wallis, J. R. (1995). *Correction to some statistics useful in regional frequency analysis*. In: *Water Resources Research*, American Geophysical Union. V.31, n.1,p. 251.

Kite, G. W. (1977). *Frequency and Risk Analysis in Hydrology*. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA. 224 p.

Kleeberg, H. B., Overland, H., Paus, B. (1989). *NAVMO, Version 1.1, Nieseschlag – Abfluss – Verdunstung Modell*. Documentation. Universität der Bundeswehr München, Alemanha.

Klemes, V. (1986). *Operation Testing of Hydrological Simulation Models*. *Hydrological Sciences Journal*, 31, 1, 13-24.

Koch, U., Rego, J. C. (1985). *Aplicação de Teste Não-Paramétricos para verificar a Homogeneidade de Séries Hidrometeorológicas*. *Revista Brasileira de Engenharia*. Caderno de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, 2 (1): 47-67.

Lacerda Jr., H. B. (2002). *Um Estudo dos Efeitos de Escala e Uso do Solo na Parametrização do Modelo NAVMO com Dados de Bacias do Cariri Paraibano*. Dissertação de Mestrado, DEC/CCT/UFPB.

Lanna, A. E. (2001). *Elementos de Estatísticas e Probabilidades*. In: TUCCI, C. E. M. *Hidrologia Ciências e Aplicações*. 2ª edição., Porto Alegre: Editora da Universidade – ABRH. P. 79-164.

Lima, K. A. (2008). *Modelagem do escoamento no baixo rio Paraíba/PB e Mamanguape para fins de regionalização hidrológica* – Dissertação de mestrado – UAEC/CTRN/UFCG, C. Grande, PB.

Lopes, P. L. (1994). *Avaliação do Escoamento Superficial da Bacia do Rio Piancó Utilizando o Modelo NAVMO*. Tese de Mestrado, Dept. Eng. Civil, CCT/UFPB, Campina Grande, Pb.

Mccuen, R. H. (1982). *A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods*, Univ. of Maryland, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

Medeiros, J. D. F. Diniz L. S., Tucci C. E. M. (2002). *Regionalização de Curvas de Regularização para Diferentes Garantias*. VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2002, Maceió, AL.

Mendes, L. A. (2007). *Análise dos Critérios de Outruga de Direito de Usos Consuntivos dos Recursos Hídricos Baseados em Vazões Mínimas e em Vazões de Permanência* – Dissertação de Mestrado - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, SP.

- Nunes, A. S. O. (2005). Regionalização Hidrológica na Região do Alto Rio Paraíba-PB Utilizando dados Simulados com Modelo Distribuído. Dissertação de Mestrado. DEC/CCT/UFPG.
- Nunes, A. S. O., Figueiredo, E. E., Furtunato, O. M., Crispim, A. M. C., Batista, M. S. (2005a). Simulações de vazões na região do alto rio Paraíba - PB com o modelo NAVMO para fins de regionalização. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005. CD-ROM do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa - PB: ABRH.
- Nunes, A. S. O., Figueiredo, E. E., Crispim, A. M. C., Furtunato, O. M., Batista, M. S. (2005b). Regionalização hidrológica no alto rio Paraíba utilizando dados simulados com o modelo NAVMO. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005. CD-ROM do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa - PB: ABRH.
- PERH – PB (2006). Plano Estadual de Recursos Hídricos. Resumo Executivo e altas: Governo de Estado da Paraíba, Secretaria de Estado da Ciência e tecnologia e do Meio Ambiente, SECTMA; Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, AESA. – Brasília DF: Consórcio TC/BR – Concremat 112p.
- Pinto, E. J. A., Naghettini, M. C. (2000). Caracterização pluviométrica da bacia do alto São Francisco – Sub-bacia 40: Definição de regiões homogêneas e a regionalização de precipitações máximas diárias, Belo Horizonte, CPRM.
- Ramos, A. M., Galvão, C. O. (2001). Estabilidade de redes neurais em modelagem hidrometeorológica. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos e V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Aracaju. Gestão de Recursos Hídricos: O Desafio da Prática. 20 p, CD-ROM.
- Rego, J. C., Figueiredo, E. E., Koch, U. (1989). Regionalização de Cheias numa Bacia do Nordeste do Brasil. Anais VIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Foz do Iguaçu- Pr, pp. 621 – 632.
- Reis, D. S. R. J., Stedinger, J. R., Martins, E. S., Alexandre, A. M. B. (2005). Redução das Incertezas em Quantis de Cheia através do uso de Parâmetros de Forma Regional. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa, PB.
- Rennó, C. D., Soares, J. V. (2003). Conceitos básicos de modelagem hidrológica. X Simpósio Brasileiro de Geologia Física Aplicada, Rio de Janeiro.
- Samper, J., Vera, M. A. G., Pisani, B., Alvares, D., Varela, A., Losada, J. A. (2005). Aplicação do modelo hidrológico VISUAL BALAN V2.0 em duas bacias hidrográficas Espanholas: Estudos de caso e desenvolvimentos. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa, PB.
- Santos, C. A. G., Silva, R. M., Nitão, I. A. (2004). Modelagem do escoamento superficial numa bacia periurbana no Nordeste do Brasil. VII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2004, São Luis, MA.
- Schulz, E.F. (1973). Problems in Applied Hydrology. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA. 501 p.
- Silveira, G. L., Tucci, C. E. M., Silveira, A. L. L. (1998). Quantificação de vazões em pequenas bacias sem dados. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, v. 3, n.3, p. 111 – 131.
- Silva, D. D., Baena, L. G. N. (2002). Curso: Regionalização Hidrológica. Programa de Capacitação Ambiental do SPRN – PPG7.



- Shimakura, S. E., Ribeiro JR., P. J. (2005). Estatística. Departamento de estatística – UFPR Disponível on-line em: <http://www.est.ufpr.br/~paulojus/CE003/ce003/ce003.html>.
- Sorooshian, S., Gupta, V. K. (1995). Model Calibration. In: Singh, V. P. (editor). Computer Models of Watershed Hydrology. Water Resources Publications. Louisiana.
- Sousa, G., Figueiredo E. E. (2005). MODFIPE, um modelo distribuído de base física para simulação do escoamento e erosão do solo. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa, PB.
- Steyaert, L. T. (1993). A perspective on the state of environmental simulation modeling, Environmental modeling with GIS. New York, Oxford University Press, cap. 3, pp 16-30.
- Strobel, O. M. (1987). Identificação de regiões hidrologicamente homogêneas através de análise fatorial de componentes principais, Revista Brasileira de Engenharia, 5 (1), 31-52.
- Tucci, C. E. M. (1993). Ciclo Hidrológico. In: Hidrologia, Ciência e Aplicação, Tucci, C. E. M. (editor) Ed. Da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. P 35-40.
- Tucci, C. E. M. (1997). Hidrologia – Ciência e Aplicação. Editora da Universidade UFRGS – 2ª edição, Porto Alegre. 943 p.
- Tucci, C. E. M. (1998). Modelos hidrológicos. Ed. da UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 668p.
- Tucci, C. E. M. (2000) - Regionalização das Vazões - Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - IPH – UFRGS. Porto alegre, 2000.
- Tucci, C. E. M. e Clarker, R. T. (2001). Hidrologia Aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas – ABRH, Projeto RECOPE-FINEP. Porto Alegre - RS
- Tucci, C. E. M. (2002). Regionalização de vazões – ABRH, Editora da Universidade – UFRGS. 1a Edição. RS.
- Williams, J. R. (1969). Flood Routing with Variable Travel Time on Variable Storage Coefficients. Transactions of the ASAE. Vol. 12, p. 100-103.

## **ANEXOS**

Anexo A: Valores das Simulações de Longo Período para Vazões Máximas nas sub-bacias de: Acauã, Guarita, SBBA, SBBB, SBBC, Ponte da Batalha e FOZ (presente estudo)

Anexo B: Valores das Simulações de Longo Período para Vazões Médias nas sub-bacias de: Acauã, Guarita, SBBA, SBBB, SBBC, Ponte da Batalha e FOZ (presente estudo)

Anexo C: Valores das Simulações de Longo Período para Vazões Máximas nas sub-bacias de: Caraúbas, Taperoá, Poço de Pedras, Boqueirão, BS5, BS9, BS14, BS25 e BS35 (Nunes, 2005)

Anexo D: Valores das Simulações de Longo Período para Vazões Médias nas sub-bacias de: Caraúbas, Taperoá, Poço de Pedras, Boqueirão, BS5, BS9, BS14, BS25 e BS35 (Nunes, 2005)

Anexo E: Diagramas de Barras para as Estações Pluviométricas Seleccionadas

Anexo F: Postos Pluviométricos Seleccionados por Lima (2008)

Anexo G: Postos Pluviométricos Não Utilizados nas Simulações

**Anexo A – Série de Vazões Máximas simuladas (m³/s).**

	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	P. da Batalha	Foz
1911	146,08	87,22	85,26	25,70	25,32	126,97	205,97
1912	290,66	290,84	289,58	72,38	88,40	370,31	449,73
1913	161,47	170,93	166,01	52,79	51,40	213,70	246,09
1914	381,01	393,89	416,79	69,86	83,83	526,67	625,92
1915	126,70	128,68	129,39	39,64	38,93	180,17	203,77
1916	147,70	178,92	182,08	32,57	34,18	223,56	279,82
1917	288,77	301,39	297,49	66,46	66,69	358,34	407,37
1918	142,52	176,70	384,22	93,99	243,00	683,97	689,97
1919	212,15	256,79	305,35	63,30	102,31	434,34	464,67
1920	281,06	285,22	290,39	64,01	110,48	414,30	470,75
1921	142,22	175,76	202,60	50,95	111,48	341,35	442,18
1922	362,49	399,77	421,70	77,73	144,94	571,93	643,38
1923	164,02	190,59	216,90	44,50	94,91	331,76	388,85
1924	571,13	679,38	771,02	221,14	293,44	1115,68	1187,55
1925	110,79	155,84	210,69	60,60	103,42	341,68	372,12
1926	556,98	685,41	817,36	143,41	252,21	1127,81	1201,95
1927	304,85	407,39	506,27	90,90	172,19	727,31	840,18
1928	540,22	633,77	730,89	114,84	193,38	970,11	1018,31
1929	273,24	355,87	417,40	79,36	126,36	570,86	625,50
1930	504,51	519,87	522,30	18,25	16,64	526,54	517,15
1931	787,22	946,39	1092,55	156,30	270,36	1445,72	1565,98
1932	325,96	325,74	352,35	46,23	128,02	526,59	576,79
1933	259,41	284,62	308,38	53,53	118,90	475,19	610,15
1934	343,21	242,02	245,34	70,50	112,15	488,91	576,96
1935	653,59	672,06	750,34	116,93	209,37	1020,33	1121,07
1936	1139,37	1051,02	1178,05	178,00	321,72	1865,93	2069,31
1937	372,31	404,05	514,13	95,64	191,12	771,75	840,42
1938	72,72	112,71	157,51	14,48	57,67	260,42	335,33
1939	693,08	900,94	974,35	167,91	223,31	1121,50	1125,40
1940	696,27	790,05	876,12	106,42	204,16	1125,60	1228,50
1941	1025,70	1179,03	1309,67	153,81	252,88	1607,50	1623,99
1942	240,21	306,09	356,48	52,08	101,97	488,51	515,71
1943	527,80	526,42	573,20	99,78	149,02	734,32	731,71
1944	338,87	338,36	337,40	29,26	72,00	350,41	392,19
1945	961,83	1066,65	1147,41	162,66	237,58	1442,32	1544,57
1946	238,05	237,92	242,04	30,19	42,55	248,34	256,33
1947	613,55	408,65	404,04	26,92	75,36	453,54	528,39
1948	557,27	574,23	588,55	80,28	106,46	680,01	755,24
1949	508,70	552,14	604,23	60,98	95,42	723,94	771,11
1950	321,45	383,84	441,86	79,73	123,38	591,42	686,08
1951	721,26	774,62	828,50	56,55	105,72	860,93	926,27
1952	202,54	209,54	225,19	68,66	67,04	253,01	284,29
1953	530,29	535,96	547,35	45,07	43,47	590,00	640,98
1954	286,83	338,13	364,93	69,68	101,43	495,37	529,58
1955	102,66	101,98	103,02	12,17	48,70	135,51	193,06
1956	473,45	515,54	580,06	90,13	149,62	799,34	941,19

<b>Anexo A – Série de Vazões Máximas simuladas (m³/s).– Continuação</b>							
	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	P. da Batalha	Foz
1957	157,19	156,51	155,43	22,92	57,29	194,40	256,59
1958	66,78	66,57	71,63	19,45	42,48	119,74	117,93
1959	309,01	308,43	309,42	86,80	152,55	482,91	499,03
1960	506,10	559,57	558,14	108,28	118,39	637,57	635,26
1961	1376,55	1410,34	1411,34	95,83	135,46	1520,08	1548,05
1962	190,71	199,41	218,17	28,03	53,14	271,53	310,12
1963	189,87	189,33	186,23	50,08	79,77	216,48	235,54
1964	1034,50	1123,75	1188,84	142,29	228,55	1475,81	1568,67
1965	329,29	328,89	331,78	20,93	31,87	378,22	404,35
1966	368,95	434,32	531,24	69,05	146,58	766,67	823,19
1967	161,36	161,28	181,07	58,37	85,91	443,97	497,36
1968	166,35	166,19	166,91	57,38	115,91	328,78	391,78
1969	578,88	705,70	887,43	161,92	321,66	1324,72	1481,71
1970	528,36	614,08	840,27	195,88	375,81	1346,67	1524,08
1971	139,71	198,16	303,03	106,74	179,92	525,60	553,68
1972	480,44	497,93	604,96	127,14	231,86	949,33	1054,90
1973	312,26	236,04	287,80	55,60	109,35	550,53	595,22
1974	613,49	676,65	740,07	80,18	140,02	931,47	1037,11
1975	721,48	792,19	866,99	85,47	170,11	1296,70	1443,63
1976	509,59	638,52	746,57	134,14	216,76	1004,23	1041,27
1977	890,41	1015,71	1043,45	67,64	149,78	1110,80	1131,66
1978	630,80	803,86	993,15	175,88	327,41	1430,34	1570,07
1979	373,03	372,48	376,61	56,01	101,39	508,35	547,16
1980	473,69	488,87	499,84	87,28	174,21	651,84	750,03
1981	852,69	939,07	986,36	153,47	188,28	1186,07	1183,88
1982	320,28	347,53	376,67	26,51	53,86	442,12	480,70
1983	261,44	260,76	255,74	37,84	50,22	269,01	276,54

**Anexo B – Série de Vazões Médias simuladas (m<sup>3</sup>/s)**

	Acauã	Guarita	SBBA	SBBB	SBBC	P. da Batalha	Foz
1911	14,12	9,81	10,89	1,63	2,45	14,31	16,44
1912	16,17	16,98	18,48	2,52	3,65	25,60	36,54
1913	5,96	6,41	7,09	1,85	2,33	11,26	17,72
1914	30,74	31,79	34,23	6,25	7,91	47,73	62,97
1915	3,39	3,52	3,65	0,86	0,91	4,93	6,00
1916	7,74	7,95	8,51	1,24	1,64	11,85	17,52
1917	12,19	12,52	13,33	2,01	2,54	17,87	24,10
1918	3,01	6,69	12,25	2,85	6,73	21,79	26,14
1919	6,11	8,13	11,10	2,34	4,73	17,90	20,89
1920	11,15	14,28	18,30	3,98	7,19	28,55	34,29
1921	5,69	8,87	14,75	3,31	8,21	27,90	39,44
1922	13,44	19,16	28,03	6,16	1,31	48,74	60,03
1923	5,19	6,47	8,95	1,65	3,78	15,36	21,69
1924	25,11	34,89	45,68	13,07	21,83	74,12	85,41
1925	4,20	6,60	10,43	2,52	5,46	18,38	22,32
1926	23,23	28,67	35,67	6,69	12,30	52,24	58,41
1927	10,14	13,51	18,32	3,51	7,30	28,68	33,48
1928	19,99	24,14	29,30	3,85	7,84	40,04	44,27
1929	13,16	16,60	21,76	3,16	7,15	32,99	41,99
1930	6,18	6,70	7,94	0,27	0,48	5,58	6,19
1931	43,35	50,87	59,95	8,47	15,63	81,72	93,40
1932	14,41	17,04	21,41	1,80	5,43	30,18	36,80
1933	6,09	9,14	14,22	2,19	6,28	23,97	30,87
1934	19,97	10,50	13,16	4,39	8,91	40,73	48,98
1935	34,50	17,20	21,52	6,87	13,80	69,41	80,24
1936	52,56	28,23	32,44	7,84	14,90	87,88	102,91
1937	7,58	8,99	10,93	1,46	2,98	15,59	18,81
1938	1,64	2,47	3,61	0,46	1,16	5,58	7,09
1939	13,95	11,98	14,20	3,39	6,42	31,56	36,83
1940	36,53	43,23	52,71	5,61	13,41	73,07	86,83
1941	12,48	15,11	18,68	2,53	5,17	25,91	29,00
1942	8,38	10,70	13,85	1,31	3,51	19,63	23,87
1943	9,72	11,77	14,61	1,73	3,70	19,89	22,48
1944	9,42	10,83	13,13	1,13	2,58	16,88	19,30
1945	36,82	40,89	45,44	5,33	9,12	58,26	66,10
1946	6,37	6,97	8,24	0,43	1,19	9,97	10,64
1947	43,59	21,65	23,29	0,45	1,58	26,02	28,27
1948	39,56	42,48	45,94	3,03	6,09	55,70	64,37
1949	30,82	33,64	37,76	2,55	6,14	47,93	56,56
1950	6,49	8,05	10,50	1,37	3,17	15,54	20,66
1951	46,31	50,33	56,58	1,04	3,54	36,43	45,75
1952	3,84	4,00	4,76	0,64	0,99	6,92	9,96
1953	14,31	14,61	15,42	0,99	1,43	17,76	20,10
1954	6,52	7,39	8,61	1,23	2,29	12,16	14,54
1955	2,36	3,17	4,82	0,46	1,58	7,74	10,61
1956	9,96	11,60	14,32	2,33	4,36	21,01	26,47

<b>Anexo B – Série de Vazões Médias simuladas (m³/s) - Continuação</b>							
1957	2,63	3,08	4,34	0,67	1,52	7,06	9,50
1958	1,18	1,91	2,89	0,56	1,15	4,51	5,43
1959	4,80	6,62	10,04	1,79	4,07	15,70	17,58
1960	9,01	10,33	12,05	1,27	2,28	15,26	17,05
1961	56,89	59,31	67,55	6,17	12,19	86,02	98,28
1962	3,85	4,39	6,22	0,82	1,92	9,85	13,83
1963	9,34	10,19	11,90	1,26	2,38	15,58	18,58
1964	78,48	91,82	106,01	15,05	28,01	145,13	164,97
1965	13,65	13,99	14,53	0,93	1,39	16,97	20,02
1966	8,67	10,45	14,42	3,19	8,92	44,44	54,87
1967	12,91	13,79	15,38	4,28	7,86	49,52	58,40
1968	8,81	10,18	12,63	1,53	3,17	17,06	18,68
1969	39,20	46,04	54,74	8,54	16,28	77,28	88,34
1970	12,21	16,16	21,63	3,70	7,87	33,23	39,57
1971	6,81	8,39	11,63	2,05	4,38	18,11	22,34
1972	17,00	19,04	22,70	6,33	12,89	62,07	72,87
1973	18,07	12,10	15,89	3,26	8,61	42,58	52,23
1974	54,65	59,90	67,67	7,25	14,36	88,75	107,24
1975	13,91	15,71	18,62	3,89	8,20	53,27	63,49
1976	11,28	13,70	16,68	2,11	4,19	22,47	25,04
1977	56,52	64,75	69,82	4,45	8,89	82,86	91,43
1978	16,92	45,04	51,55	5,62	10,87	67,77	78,87
1979	12,77	13,66	15,72	1,14	2,71	20,26	23,97
1980	8,37	10,39	13,46	1,97	4,15	19,61	22,65
1981	24,99	27,25	29,57	2,83	4,55	35,66	37,92
1982	11,39	12,16	13,27	0,93	1,61	15,80	17,30
1983	5,25	5,51	6,24	0,65	1,00	7,64	8,40

**Anexo C – Série de Vazões Máximas simuladas (m³/s) – Nunes (2005)**

	<b>Caraúbas</b>	<b>Taperoá</b>	<b>P. de Pedras</b>	<b>Boqueirão</b>	<b>BS5</b>	<b>BS9</b>	<b>BS14</b>	<b>BS25</b>	<b>BS35</b>
1923	23,94	20,38	20,38	30,74	17,95	3,58	14,06	23,96	16,48
1924	130,10	9,35	76,74	186,72	59,10	30,99	26,88	140,30	18,29
1925	16,27	23,15	20,81	22,40	15,30	3,10	7,76	16,42	19,44
1926	156,14	71,46	193,87	287,47	47,70	42,09	56,12	155,95	154,12
1927	94,15	31,63	94,68	156,69	45,57	41,35	15,00	98,18	77,54
1928	69,46	31,44	55,60	73,54	55,81	2,94	33,70	72,69	35,67
1929	111,93	59,85	104,50	240,37	28,14	28,94	33,50	135,58	59,85
1930	10,37	1,57	20,17	28,66	8,82	6,94	4,79	10,88	20,19
1931	14,46	21,45	35,78	162,73	0,99	0,67	1,94	114,93	19,47
1932	20,53	16,15	55,73	70,01	8,68	10,97	21,35	19,38	55,45
1933	32,43	15,84	33,96	60,00	14,53	18,04	17,19	31,21	30,35
1934	81,36	37,70	137,03	297,32	6,30	11,78	38,61	165,95	80,28
1935	84,91	34,96	149,73	325,57	9,20	13,97	27,26	174,21	118,75
1936	83,04	3,14	20,66	93,72	44,82	27,17	6,19	82,51	2,00
1937	113,43	49,88	109,20	220,75	26,59	35,36	50,74	112,03	89,69
1938	54,35	6,55	73,46	161,56	13,38	4,36	18,61	78,21	14,82
1939	130,36	12,46	102,71	274,37	45,23	45,33	33,61	167,36	13,37
1940	116,86	21,36	123,49	310,39	56,27	36,90	27,28	179,43	39,85
1941	122,24	35,54	121,93	190,79	47,79	36,54	27,13	122,32	88,64
1942	3,57	23,21	70,91	70,45	5,11	0,51	0,00	11,10	64,03
1943	28,19	9,66	10,62	56,64	14,61	16,55	0,00	53,39	10,07
1944	15,53	1,17	45,36	52,34	15,26	0,00	0,67	48,77	31,20
1945	92,49	61,91	265,44	395,18	29,40	36,74	35,55	162,10	207,08
1946	27,79	19,87	25,78	36,23	23,85	4,25	13,43	27,77	25,15
1947	162,08	65,15	201,27	359,46	40,80	23,16	38,61	183,34	131,38
1948	55,41	53,04	240,49	250,53	25,67	25,33	8,67	54,88	212,33
1949	83,75	31,71	160,69	206,63	50,43	27,59	6,66	83,29	142,29
1950	14,73	27,47	151,95	148,64	16,79	1,74	2,40	13,46	134,77
1951	91,50	21,43	66,85	99,60	36,74	48,26	11,51	90,23	63,13
1952	53,32	16,19	148,31	210,73	1,31	8,87	43,40	57,63	49,17
1953	90,95	24,42	92,77	181,86	4,73	0,00	87,44	89,65	79,10
1954	46,66	18,91	212,56	389,71	5,58	29,17	44,56	156,97	100,55
1955	21,44	27,18	76,59	84,58	1,36	9,34	16,55	20,86	41,88
1956	147,71	60,25	246,12	416,28	34,52	42,80	77,23	153,50	143,32
1957	196,50	2,14	34,23	211,17	23,83	32,73	106,50	207,55	12,06
1958	229,95	12,67	55,21	264,79	53,23	25,33	107,57	236,09	45,81
1959	160,70	6,54	47,46	249,56	47,39	40,71	55,72	214,25	20,56
1960	312,09	22,84	131,57	448,84	148,35	54,16	61,12	329,41	72,14
1961	27,92	9,99	65,45	148,75	1,14	1,75	17,65	84,05	54,67
1962	118,70	40,48	37,95	289,09	37,40	35,05	38,21	254,12	35,64
1963	89,84	22,45	37,96	106,26	7,19	86,55	26,00	99,19	35,24
1964	132,88	61,52	84,16	205,49	45,58	52,93	77,65	167,02	71,61
1965	144,01	54,05	118,81	371,48	78,08	22,53	80,57	325,97	104,31
1966	153,46	23,76	57,44	235,48	34,77	63,76	74,84	182,63	40,11
1967	60,74	37,11	54,31	171,28	10,20	16,56	46,24	117,51	45,86
1968	189,08	32,57	97,77	389,08	38,42	29,09	73,30	305,55	85,38

<b>Anexo C – Série de Vazões Máximas simuladas (m³/s) – Nunes (2005); Cont.</b>									
1969	189,08	32,57	97,77	389,08	38,42	29,09	73,30	305,55	85,38
1970	115,81	12,27	13,56	128,07	36,87	47,28	61,24	114,85	12,45
1971	61,18	35,95	69,79	173,53	25,01	6,81	45,37	114,72	47,39
1972	24,68	33,41	43,44	58,07	16,37	7,03	6,10	23,52	39,46
1973	55,69	26,23	64,08	151,30	13,81	9,85	27,36	84,29	22,85
1974	117,66	17,67	47,37	179,68	47,85	31,76	31,65	130,76	21,59
1975	198,35	58,88	119,58	396,97	40,26	38,51	78,58	266,55	57,76
1976	43,86	50,39	54,29	60,99	18,93	26,82	19,22	45,98	49,74
1977	152,18	43,78	443,07	631,49	21,99	18,40	74,30	188,25	301,92
1978	232,07	76,01	142,36	412,77	57,81	68,28	75,44	314,87	111,12
1979	4,64	5,51	27,65	61,20	3,84	2,55	0,00	55,20	27,64
1980	15,95	0,00	4,83	16,11	2,69	9,04	7,58	15,69	5,48
1981	193,73	18,61	61,46	349,28	65,87	70,58	39,43	265,09	24,52
1982	95,38	22,06	22,69	93,54	41,40	52,53	8,18	94,07	19,03
1983	93,86	44,02	46,51	99,31	64,54	12,04	18,76	95,24	39,71



**Anexo D – Série de Vazões Médias simuladas (m³/s) – Nunes (2005)**

	<b>Caraúbas</b>	<b>Taperoá</b>	<b>P. de Pedras</b>	<b>Boqueirão</b>	<b>BS5</b>	<b>BS9</b>	<b>BS14</b>	<b>BS25</b>	<b>BS35</b>
1923	0,565	0,115	0,322	0,916	0,271	0,069	0,141	0,556	0,209
1924	4,618	0,956	3,790	9,735	1,914	0,560	1,261	4,673	1,384
1925	0,783	0,344	0,753	1,522	0,39	0,056	0,181	0,762	0,490
1926	5,786	6,940	15,688	21,813	2,161	1,452	1,828	5,754	12,718
1927	1,617	0,473	1,956	3,649	0,59	0,471	0,200	1,593	1,378
1928	0,865	0,683	1,467	2,371	0,36	0,039	0,285	0,871	1,096
1929	3,482	0,887	3,449	7,168	0,891	0,696	1,304	3,598	2,568
1930	0,316	0,043	0,621	0,967	0,106	0,091	0,053	0,339	0,482
1931	0,216	0,140	0,700	1,598	0,025	0,027	0,047	0,680	0,373
1932	0,232	0,211	0,913	1,176	0,044	0,058	0,110	0,261	0,745
1933	0,427	0,270	0,819	1,277	0,126	0,179	0,077	0,463	0,665
1934	1,797	0,718	4,658	7,995	0,154	0,275	0,670	2,856	0,094
1935	1,810	0,604	3,700	6,778	0,233	0,346	0,656	2,681	1,643
1936	0,627	0,072	0,234	1,611	0,255	0,760	0,074	1,105	0,094
1937	1,062	0,843	1,937	3,262	0,323	0,250	0,377	1,247	1,534
1938	0,423	0,101	0,675	1,295	0,071	0,029	0,126	0,535	0,370
1939	2,089	0,327	1,403	5,090	0,515	0,383	0,529	3,171	0,592
1940	4,179	1,017	8,950	21,474	0,457	0,229	1,125	7,574	1,772
1941	1,172	0,454	1,370	2,824	0,39	0,280	0,224	1,313	0,982
1942	0,055	0,334	0,789	0,912	0,029	0,009	0,000	0,124	0,695
1943	0,215	0,106	0,316	0,839	0,097	0,098	0,000	0,481	0,243
1944	0,269	0,035	0,597	1,270	0,184	0,000	0,008	0,617	0,458
1945	3,430	1,175	8,944	12,890	0,971	0,896	0,536	3,614	6,644
1946	0,383	0,256	0,832	1,272	0,214	0,037	0,063	0,429	0,592
1947	4,984	0,855	8,456	13,950	1,391	0,632	0,723	5,039	5,570
1948	1,227	0,924	6,561	7,842	0,573	0,325	0,168	1,204	5,908
1949	0,764	0,551	2,170	2,998	0,38	0,147	0,050	0,782	1,679
1950	0,856	0,330	0,968	1,800	0,068	0,008	0,029	0,125	0,799
1951	0,403	0,346	1,189	1,693	0,314	0,376	0,094	0,826	0,639
1952	1,191	0,283	1,137	2,320	0,005	0,048	0,259	0,430	0,867
1953	0,996	0,450	4,195	6,473	0,027	0,000	1,006	1,177	1,603
1954	0,297	0,518	1,644	2,227	0,027	0,333	0,256	1,955	0,996
1955	2,445	0,794	3,387	6,282	0,013	0,089	0,154	0,293	1,728
1956	1,264	0,047	0,579	1,974	0,503	0,486	1,046	2,596	0,201
1957	1,695	0,199	1,209	2,943	0,173	0,199	0,613	1,355	0,684
1958	11,658	0,078	1,277	13,449	0,325	0,258	0,784	1,684	0,506
1959	10,918	0,362	5,568	17,016	2,676	2,935	2,613	11,929	2,451
1960	0,375	0,147	0,997	2,096	4,431	1,818	1,903	11,023	0,584
1961	2,904	0,507	1,701	5,867	0,001	0,028	0,008	1,075	1,288
1962	3,433	0,569	1,321	6,691	0,785	0,766	0,558	3,858	1,009
1963	6,930	0,671	2,935	10,858	0,227	2,734	0,174	3,296	1,758
1964	7,503	0,575	2,248	12,869	1,295	1,586	2,810	7,628	1,472
1965	7,655	1,526	2,841	13,236	2,239	0,730	1,463	10,335	2,038
1966	1,773	0,485	1,822	4,413	1,032	2,591	3,048	7,348	1,141
1967	3,069	0,560	2,586	6,678	0,218	0,444	0,696	2,406	1,848
1968	0,565	0,115	0,322	0,916	0,271	0,069	0,141	0,556	0,209

<b>Anexo C – Série de Vazões Médias simuladas (m³/s) – Nunes (2005); Cont.</b>									
1969	1,568	0,174	0,447	2,315	0,383	0,572	1,355	3,768	0,313
1970	1,942	0,802	2,035	4,382	0,392	0,563	0,443	1,739	1,573
1971	0,715	0,479	1,481	2,594	0,416	0,087	1,090	2,141	1,241
1972	1,355	0,679	1,586	3,164	0,377	0,078	0,135	0,847	0,881
1973	1,842	1,180	2,270	6,358	0,245	0,184	0,601	1,440	1,350
1974	5,055	0,598	1,866	8,113	0,802	0,281	0,507	2,932	0,908
1975	0,571	0,693	0,903	1,495	1,638	0,893	1,569	5,919	0,772
1976	5,125	2,658	15,771	28,513	0,151	0,226	0,162	0,591	10,569
1977	8,559	1,291	4,391	13,856	0,174	0,164	2,458	9,452	3,277
1978	0,096	0,191	0,543	1,078	1,722	3,367	2,888	9,171	0,433
1979	0,205	0,000	0,071	0,281	0,039	0,020	0,000	0,466	0,064
1980	2,316	0,465	1,237	5,197	0,036	0,064	0,083	0,209	0,610
1981	0,875	0,452	0,656	1,588	0,868	0,617	0,427	3,588	0,511
1982	0,676	0,461	0,762	1,449	0,403	0,298	0,075	0,932	0,548
1983	0,006	0,048	0,299	0,307	0,402	0,074	0,082	0,681	0,257

## **Anexo E – Diagramas de Barras para as Estações Pluviométricas Seleccionadas**

**Anexo F – Postos Pluviométricos Selecionados por Lima (2008)**

	<b>Nome dos Postos</b>	<b>Código</b>	<b>Estado</b>	<b>Período de dados</b>
1	Acaú	735035	PB	62-94
2	Açude Boqueirão	736023	PB	61-94
3	Algodão	636031	PB	62-83
4	Alagoa Grande	735033	PB	59-90
5	Alhandra	734008	PB	36-94
6	Aliança (Paraguaçu)	735038	PE	63-92
7	Alagoa Nova	735030	PB	11-93
8	Aroeiras	735029	PB	62-94
9	Bananeiras	635033	PB	30-94
10	Bodocongó 1	735028	PB	33-94
11	Bodocongó 2	735124	PB	70-06
12	Bom Jardim	735041	PE	11-93
13	Barra de Santa Rosa	636032	PB	30-83
14	Buenos Aires	735045	PE	67-93
15	Cacimba de Dentro	635037	PB	62-94
16	Campina Grande	735024	PB	62-68
17	Catolé	736019	PB	62-80
18	Cruz do Espírito Santo	735019	PB	11-90
19	Cuité	366035	PB	62-83
20	Fagundes	735018	PB	62-93
21	Faz. Lagoa dos Macacos	735012	PB	62-94
22	Goiânia	734009	PE	64-68
23	Ingá	735017	PB	10-88
24	Itabaiana	735015	PB	10-87
25	Itambé	735072	PB	10-90
26	Itapirema	734012	PE	79-85
27	Itaquitinga	735056	PE	67-91
28	Jacaraú	635043	PB	62-93
29	João Pessoa 1	734002	PB	64-85
30	João Pessoa 2	734003	PB	12-85
31	João Pessoa 3	734004	PB	77-78
32	Macaparama	735060	PE	63-92
33	Machados	735061	PE	63-93
34	Mataraca	635045	PB	62-87
35	Mata Virgem	735011	PB	62-94
36	Mogeirol	735010	PB	62-94
37	Mulungú	735009	PB	26-06
38	Pilar	735007	PB	62-94
39	Pocinhos	736014	PB	23-93
40	Ponte da Batalha	735036	PB	70-06
41	Riacho Santo Antônio	736013	PB	62-93
42	Sapé	735006	PB	24-93
43	Serraria	635048	PB	11-91
44	Sossego	636040	PB	62-83
45	Surubim	735068	PE	11-85
46	Taquaritinga do Norte	736021	PE	11-92

<b>Anexo F – Postos Pluviométricos Seleccionados por Lima (2008); cont.</b>				
47	Timbaúba	735074	PE	11-89
48	Umbuzeiro	735002	PB	10-94
49	Vicência	735087	PE	63-89

**Anexo G – Postos Pluviométricos Não utilizados nas simulações (1930 a 1983)**

	<b>Nome dos Postos</b>	<b>Código</b>	<b>Estado</b>	<b>Período de dados</b>
1	Alagoa Nova	735030	PB	11-93
2	Bananeiras	635033	PB	30-94
3	Bom Jardim	735041	PE	11-93
4	Barra de Santa Rosa	636032	PB	30-83
5	Escada	835022	PE	13-83
6	Ingá	735017	PB	10-88
7	Itabaiana	735015	PB	10-87
8	Itambé	735072	PB	10-90
9	Mulungú	735009	PB	26-06
10	Pocinhos	736014	PB	23-93
11	Sapé	735006	PB	24-93
12	São José do Mipibu	636005	RN	11-83
13	Serra caiada	635009	RN	22-91
14	Timbaúba	735074	PE	11-89
15	Umbuzeiro	735002	PB	10-94
16	Vicência	735087	PE	63-89

**Anexo G – Postos Pluviométricos Não utilizados nas simulações (1963 a 1983)**

	<b>Nome dos Postos</b>	<b>Código</b>	<b>Estado</b>	<b>Período de dados</b>
1	Acaú	735035	PB	62-94
2	Açude Boqueirão	736023	PB	61-94
3	Alagoa Grande	735033	PB	59-90
4	Alhandra	734008	PB	36-94
5	Alagoa Nova	735030	PB	11-93
6	Aroeiras	735029	PB	62-94
7	Bananeiras	635033	PB	30-94
8	Bodocongó 1	735028	PB	33-94
9	Bom Jardim	735041	PE	11-93
10	Barra de Santa Rosa	636032	PB	30-83
11	Cacimba de Dentro	635037	PB	62-94
12	Cruz do Espírito Santo	735019	PB	11-90
13	Escada	835022	PE	13-83
14	Fagundes	735018	PB	62-93
15	Faz. Lagoa dos Macacos	735012	PB	62-94
16	Ingá	735017	PB	10-88
17	Itabaiana	735015	PB	10-87
18	Itambé	735072	PB	10-90
19	Jacaraú	635043	PB	62-93
20	Macaparama	735060	PE	63-92
21	Machados	735061	PE	63-93
22	Mata Virgem	735011	PB	62-94
23	Mogeiro	735010	PB	62-94
24	Mulungú	735009	PB	26-06
25	Pilar	735007	PB	62-94

<b>Anexo G – Postos Pluviométricos Não utilizados nas simulações (1963 a 1983); cont.</b>				
26	Pocinhos	736014	PB	23-93
27	Riacho Santo Antônio	736013	PB	62-93
28	Sapé	735006	PB	24-93
29	São José do Mipibu	636005	RN	11-83
30	Serra caiada	635009	RN	22-91
31	Taquaritinga do Norte	736021	PE	11-92
32	Timbaúba	735074	PE	11-89
33	Umbuzeiro	735002	PB	10-94
34	Vertente	735085	PE	11-93
35	Vicência	735087	PE	63-89