UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

DAYSY LIRA OLIVEIRA CAVALCANTI

Estudo comparativo de métodos de estimação de vazões máximas de
projeto para grandes bacias hidrográficas

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos
2014

DAYSY LIRA OLIVEIRA CAVALCANTI

Estudo comparativo de métodos de estimação de vazões máximas de
projeto para grandes bacias hidrográficas

Dissertação apresentada à Escola de
Engenharia de São Carlos, da
Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Ciências:
Engenharia Hidráulica e Saneamento.

Orientadora: Prof.^a Tit. Luisa Fernanda Ribeiro Reis

VERSÃO CORRIGIDA

São Carlos
2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

C376e Cavalcanti, Daysy Lira Oliveira
Estudo comparativo de métodos de estimação de vazões máximas de projeto para grandes bacias hidrográficas / Daysy Lira Oliveira Cavalcanti; orientadora Luisa Fernanda Ribeiro Reis. São Carlos, 2014.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014.

1. Hidrologia aplicada. 2. Vazões máximas. 3. Análise de Frequência Local. 4. Análise de Frequência Conjugada. 5. Hidrograma Máximo Mais Provável. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Engenheira **DAYSY LIRA OLIVEIRA CAVALCANTI**.

Título da dissertação: "Estudo comparativo de métodos de estimação de vazões máximas de projeto para grandes bacias hidrográficas".

Data da defesa: 25/02/2014

Comissão Julgadora:

Resultado:

Profa. Titular **Luisa Fernanda Ribeiro Reis (Orientadora)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Aprovado

Prof. Dr. **Eber José de Andrade Pinto**
(Universidade Federal de Minas Gerais/UFGM)

APROVADA

Prof. Dr. **Marco Aurélio Holanda de Castro**
(Universidade Federal do Ceará/UFC)

Aprovada

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento:

Profa. Associada **Maria Bernadete A. Varesche Silva**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:

Prof. Titular **Denis Vinicius Coury**

*Aos meus pais e minha família pelo
amor incondicional. E ao meu esposo,
com amor, por todo o seu
companheirismo e apoio.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar sempre força para enfrentar os desafios e por me preencher com o seu amor infinito.

Aos meus pais, Maria José e Givanildo, e familiares que sempre foram exemplos de pessoas e profissionais e que me ensinaram a ter humildade e perseverança.

Ao meu amado esposo, José Martins, companheiro em todos os momentos e sem o qual não conseguiria realizar todas as minhas atividades. Agradeço principalmente por estar presente em todos os momentos me apoiando e me preenchendo com seu amor e carinho.

A professora Luisa Fernanda Ribeiro Reis por compartilhar seus conhecimentos e por sua grande disponibilidade em orientar, ensinar e acompanhar todas as atividades.

Aos amigos que sempre me acompanham em minha jornada. E aos novos amigos que conquistei em São Carlos, principalmente os do Laboratório de Simulação Numérica/EESC/USP pelo acolhimento e receptividade.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro e concessão de bolsa de estudo.

**"SEM A CURIOSIDADE QUE ME MOVE, QUE ME INQUIETA, QUE ME INSERE NA BUSCA,
NÃO APRENDO, NEM ENSINO".**

Paulo Freire

RESUMO

CAVALCANTI, D. L. O.; REIS, L. F. R. Estudo comparativo de métodos de estimação de vazões máximas de projeto para grandes bacias hidrográficas. 2014. 226 f. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Se por um lado a estimação das vazões máximas pelos métodos tradicionais, estatístico (Análise de Frequência Local - AFL) e determinístico (Cheia Máxima Provável – CMP), vem sendo alvo de críticas, por outro, a Análise de Frequência Conjugada (AFC) e o método do Hidrograma Máximo Mais Provável (HMMP), mais recentemente proposto, evidenciam-se como ferramentas promissoras. A AFC consiste da combinação entre técnicas probabilísticas e determinísticas e o HMMP utiliza os conceitos do Hidrograma Unitário Curvilíneo (HUC) de Mockus e da distribuição temporal de chuvas dada por Huff. Este trabalho tem o intuito de aplicar os métodos AFL, AFC e HMMP de maneira a avaliar os procedimentos e peculiaridades de cada método e assim possibilitar uma análise comparativa. Os referidos métodos foram aplicados para as séries de vazões dos aproveitamentos hidrelétricos UHE Sobradinho e UHE Três Marias, localizados na bacia do rio São Francisco, e a estação fluviométrica Paso de Los Libres localizada na bacia hidrográfica do rio Uruguai. Foram avaliadas a estabilidade e a sensibilidade dos métodos à extensão da série, à variação da magnitude das menores vazões das séries de valores máximos e a influência da presença de *outliers*, nos valores máximos determinados. As análises da estabilidade e sensibilidade apresentam diferenças máximas entre as estimativas de vazões decamilenares de 321% para a Análise de Frequência Local, 64% para a Análise de Frequência Conjugada e 82% para o Hidrograma Máximo Mais Provável. Conclusões importantes foram obtidas, dentre as quais o fato dos métodos AFC e HMMP apresentarem vantagens em relação ao método AFL para todas as análises realizadas. O método do HMMP apresentou variação pouco significativa quanto à presença de *outliers* e influência da presença dos menores valores, sendo considerado o mais promissor dentre os três métodos e para as séries analisadas no presente trabalho.

Palavras-chave: Hidrologia aplicada. Vazões máximas. Análise de Frequência Local. Análise de Frequência Conjugada. Hidrograma Máximo Mais Provável.

ABSTRACT

CAVALCANTI, D. L. O.; REIS, L. F. R. Comparative study of methods for estimating design peak discharge for large watersheds. 2014. 226 f. Master thesis – The University of São Paulo (USP) at São Carlos School of Engineering (EESC), São Paulo, 2014.

If, on one hand, the estimation of peak flows by traditional statistical analysis (Local Frequency Analysis - AFL) and deterministic methods (Probable Maximum Flood - PMF) has been criticized, on the other, the Conjugated Frequency Analysis (AFC) and the method of Hydrograph Maximum Most Probable (HMMP), recently proposed, are highlighted as promising tools. The AFC consists of a combination of deterministic and probabilistic techniques and HMMP uses the concepts of Curvilinear Unit Hydrograph (HUC) by Mockus and temporal distribution of rainfall given by Huff. This paper aims to apply the AFL, AFC and HMMP methods in order to assess the procedures and peculiarities of each method and thus provide a comparative analysis. The methods were applied to the series of flows of hydroelectric Sobradinho and Três Marias, located in the São Francisco basin, and Paso de Los Libres fluviometric station located in the basin of the River Uruguay. Stability and sensitivity of the methods to extend the series, the variation of the magnitude of lower flows series of maxima and the influence of the presence of outliers in certain maximums were evaluated. The stability and sensitivity analyzes presented maximum differences between estimated decamilenares flow of 321% for the Analysis of Local Frequency, 64% for the Analysis of Combined frequency and 82% for Hydrograph Maximum Most Probable. The method presented HMMP negligible variation for the presence of outliers and influence of the presence of minor amounts, and it is considered the most promising among the three methods and for the series analyzed in this work.

Keywords: Hydrology applied. Maximal flows. Local Frequency Analysis. Conjugated Frequency Analysis. Hydrograph Maximum Most Probable.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Número de ocorrências de desastres causados por cheias no período de 1974-2003 (Fonte: Adaptado de EM-DAT, 2013).	27
Figura 1.2 - Prejuízos causados por enchentes nos EUA, adaptado das informações publicadas no National Weather Service (NOAA, 2013).	27
Figura 1.3 - Ruptura na barragem Euclides da Cunha (MENESCAL, 2011).	28
Figura 2.1 - Hidrograma com tempo de base t_0 .	44
Figura 3.1 - Atividades realizadas para aplicação da AFL (adaptado de BARROS; ZAMBON, 2013).	53
Figura 3.2 - Subdivisão da série completa (Série 1) em subséries (Série 2, Série 3, Série(n)).	59
Figura 4.1 - Fluviograma para a UHE Sobradinho (1931 a 2010).	68
Figura 4.2 - Série de vazões diárias máximas anuais (m^3/s) para a UHE Sobradinho.	68
Figura 4.3 - Vazões estimadas (m^3/s) pelas distribuições ajustadas utilizando a Série 1, para a UHE Sobradinho.	71
Figura 4.4 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados na UHE Sobradinho pelo método da AFL utilizando as distribuições selecionadas e a estimativa pela Série 1.	75
Figura 4.5 - Diagrama da relação dos momentos – (MRD Convencional) e os coeficientes estatísticos (CS^2 versus CK) das subséries (SITES) da UHE Sobradinho.	76
Figura 4.6 - Diagrama da relação dos momentos – (MRD) e os coeficientes estatísticos (CS versus CK) das subséries (SITES) da UHE Sobradinho.	76
Figura 4.7 - Diagrama da relação dos momentos L – (L-MRD) e os coeficientes estatísticos (L- CS versus L- CK) das subséries (SITES) da UHE Sobradinho.	77
Figura 4.8 - Vazões estimadas pela combinação B-MP-GEV ajustada utilizando a Série 1, para UHE Sobradinho.	79
Figura 4.9 - Vazões estimadas (m^3/s) pelo método da AFL utilizando a combinação B-MP-GEV, para as subséries utilizadas na análise da estabilidade do método, para UHE Sobradinho.	80
Figura 4.10 - Vazões estimadas pelo método da AFL utilizando a combinação B-MP-GEV, para as subséries utilizadas na análise da sensibilidade ao tamanho da amostra, para UHE Sobradinho.	81
Figura 4.11 - Vazões estimadas pelo método da AFL utilizando a combinação B-MP-GEV, para as subséries utilizadas na análise da sensibilidade a presença de <i>outlier</i> e da influência dos menores valores, para UHE Sobradinho.	82
Figura 4.12 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados na UHE Sobradinho pelo método da AFL utilizando a combinação B-MP-GEV.	83
Figura 4.13 - Vazões estimadas pelo método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MQ, para as subséries utilizadas na análise da estabilidade do método, para UHE Sobradinho.	87
Figura 4.14 - Vazões estimadas pelo método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MQ, na análise da sensibilidade ao tamanho da amostra, para UHE Sobradinho.	88
Figura 4.15 - Vazões estimadas pelo método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MQ, para análise da sensibilidade a presença de <i>outlier</i> e da influência dos menores valores, para UHE Sobradinho.	88
Figura 4.16 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados pelo método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MQ, para UHE Sobradinho.	89
Figura 4.17 - Método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MQ, análise da sensibilidade a CMP, para UHE Sobradinho.	90

Figura 4.18 - Método do HMMP utilizando os ajustes d.e.s. e a r.l.s. para a Série 1 e para os <i>TB1</i> , <i>TB2</i> e <i>TB3</i> , para UHE Sobradinho.	93
Figura 4.19 - Vazões médias estimadas para diversas durações de <i>TB</i> para a UHE Sobradinho, utilizando a Série 1 - Conte (CONTE, 2012).	94
Figura 4.20 - Hidrogramas dos anos hidrológicos de 1978-1979, 1991-1992 e 1948-1949 e vazão máxima de longo termo (<i>QMLT</i>) na UHE Sobradinho.	95
Figura 4.21 - Hidrograma do ano hidrológico de 1978-1979, vazão média de longo termo (<i>QMLT</i>) e determinação do <i>TB3</i> na UHE Sobradinho.	96
Figura 4.22 - Ajustes das séries de médias máximas anuais e vazões de pico (<i>QP</i>) considerando o modelo HUC Mockus, para os ajustes pela d.e.s., na UHE Sobradinho.	97
Figura 4.23 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados na UHE Sobradinho pelo método da HMMP utilizando a d.e.s. para <i>TB3</i>	97
Figura 4.24 - Hidrograma de projeto na UHE Sobradinho com base no HUC ($T=10.000$ anos), para a Série 1 ajustada pela d.e.s. para <i>TB3</i>	99
Figura 4.25 - Hidrogramas de projeto na UHE Sobradinho com base na cheia 1991-1992, para a Série 1 ajustada pela d.e.s. para <i>TB3</i>	99
Figura 4.26 - Fluviograma para a UHE Três Marias (1931 a 2010).	100
Figura 4.27 - Série de vazões diárias máximas anuais para a UHE Três Marias.	101
Figura 4.28 - Vazões estimadas pelas distribuições ajustadas utilizando a Série 1, para UHE Três Marias.	103
Figura 4.29 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados na UHE Três Marias pelo método AFL utilizando as estimativas pela Série 1.	106
Figura 4.30 - Diagrama da relação dos momentos – (MRD Convencional) e os coeficientes estatísticos (CS^2 versus CK) das subséries (SITES) da UHE Três Marias.	107
Figura 4.31 - Diagrama da relação dos momentos – (MRD) e os coeficientes estatísticos (CS versus CK) das subséries (SITES) da UHE Três Marias.	108
Figura 4.32 - Diagrama da relação dos momentos L – (L-MRD) e os coeficientes estatísticos ($L-CS$ versus $L-CK$) das subséries (SITES) da UHE Três Marias.	108
Figura 4.33 - Vazões estimadas pela combinação B-MM-LN2 ajustada utilizando a Série 1, para a UHE Três Marias.	110
Figura 4.34 - Vazões estimadas pelo método da AFL utilizando a combinação B-MM-LN2, para as subséries utilizadas na análise da estabilidade do método e da sensibilidade ao tamanho da amostra, na UHE Três Marias.	111
Figura 4.35 - Relação entre o número de valores observados com T maior que 10 anos e as $Q_{10.000}$ estimadas pela combinação B-MM-LN2, na UHE Três Marias.	111
Figura 4.36 - Vazões estimadas pelo método da AFL utilizando a combinação B-MM-LN2, para as subséries utilizadas na análise da sensibilidade a influência dos menores valores, na UHE Três Marias.	112
Figura 4.37 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados pelo método da AFL utilizando a combinação B-MP-GEV, na UHE Três Marias.	112
Figura 4.38 - Vazões estimadas pelo método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MM, para as subséries utilizadas na análise da estabilidade do método e da sensibilidade ao tamanho da amostra, para UHE Três Marias.	116
Figura 4.39 - Vazões estimadas pelo método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MM, para análise da sensibilidade a influência dos menores valores, para UHE Três Marias.	116
Figura 4.40 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados pelo método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MM, para a UHE Três Marias.	117
Figura 4.41 - Método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MM, análise da sensibilidade a CMP, para UHE Três Marias.	118

Figura 4.42 - Método do HMMP utilizando os ajustes d.e.s. e a r.l.s. para a Série 1 e para os <i>TB1</i> , <i>TB2</i> e <i>TB3</i> , para UHE Três Marias.....	121
Figura 4.43 - Hidrogramas dos anos hidrológicos de 1982-1983, 1996-1997 e 1991-1992 e vazão máxima de longo termo (<i>QMLT</i>) na UHE Três Marias.....	122
Figura 4.44 - Hidrograma do ano hidrológico de 1996-1997, vazão média de longo termo (<i>QMLT</i>) e determinação do <i>TB2</i> na UHE Três Marias.	122
Figura 4.45 - Ajustes das séries de médias máximas anuais e vazões de pico (<i>QP</i>) considerando o modelo HUC Mockus, para os ajustes da Série 1 pela d.e.s., na UHE Três Marias.....	123
Figura 4.46 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados na UHE Três Marias, pelo método da HMMP utilizando o ajuste da Série 1 pela d.e.s. para <i>TB2</i>	124
Figura 4.47 - Hidrograma de projeto na UHE Três Marias com base no HUC (T=10.000 anos), para a Série 1 ajustada pela d.e.s. para <i>TB2</i>	124
Figura 4.48 - Hidrogramas de projeto na UHE Três Marias com base na cheia 1996-1997, para a Série 1 ajustada pela d.e.s. para <i>TB2</i>	125
Figura 4.49 - Fluvioograma para a estação Fluviométrica Paso de Los Libres (1908 a 2012).127	
Figura 4.50 - Séries de vazões diárias máximas anuais para a estação fluviométrica Paso de Los Libres.	128
Figura 4.51 - Relação entre a altura e a vazão para a localidade de Paso de Los Libres (CNEC/ESIN/PROA, 2010).....	128
Figura 4.52 - Vazões estimadas pelas distribuições ajustadas utilizando a Série 1 e a Série 1_SSRH, em Paso de Los Libres.	131
Figura 4.53 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados pelo método da AFL utilizando as distribuições selecionadas e a estimativa pela Série 1_SSRH de Paso de Los Libres.	133
Figura 4.54 - Vazões estimadas pela combinação B-MM-LPIII ajustada para a Série 1, em Paso de Los Libres.	136
Figura 4.55 - Vazões estimadas (m³/s) pelo método da AFL utilizando a combinação B-MM-LPIII, para as subséries utilizadas na análise da estabilidade do método e da sensibilidade ao tamanho da amostra, em Paso de Los Libres.	137
Figura 4.56 - Vazões estimadas pelo método da AFL utilizando a combinação B-MM-LPIII, para as subséries utilizadas na análise da sensibilidade a presença de <i>outlier</i> e da influência dos menores valores, em Paso de Los Libres.....	138
Figura 4.57 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados (m³/s) pelo método da AFL utilizando a combinação B-MM-LPIII, para Paso de Los Libres.....	138
Figura 4.58 - Método do HMMP utilizando os ajustes d.e.s. e a r.l.s. para a Série 1_SSRH e para os <i>TB1</i> , <i>TB2</i> e <i>TB3</i> para Paso de Los Libres.	141
Figura 4.59 - Hidrogramas dos anos hidrológicos de 1983, 1997 e 1990 e vazão máxima de longo termo (<i>QMLT</i>) na estação Paso de Los Libres.....	142
Figura 4.60 - Hidrograma do ano hidrológico de 1990, vazão média de longo termo (<i>QMLT</i>) e determinação do <i>TB3</i> na estação Paso de Los Libres.....	143
Figura 4.61 - Ajustes das séries de médias máximas anuais e vazões de pico (<i>QP</i>) considerando o modelo HUC Mockus, para os ajustes pela d.e.s., para Paso de Los Libres. 143	
Figura 4.62 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados na estação fluviométrica Paso de Los Libres, pelo método da HMMP utilizando a d.e.s. para <i>TB3</i>	144
Figura 4.63 - Hidrograma de projeto na estação fluviométrica Paso de Los Libres com base no HUC (T=10.000 anos), para a Série 1_SSRH ajustada pela d.e.s. para <i>TB3</i>	145
Figura 4.64 - Hidrogramas de projeto na estação fluviométrica Paso de Los Libres com base na cheia 1991-1992, para a Série 1_SSRH ajustada pela d.e.s. para <i>TB3</i>	145

Figura 4.65 - Método do HMMP utilizando os ajustes d.e.s. e a r.l.s. para a Série 1_SSRH e para os <i>TB1</i> , <i>TB2</i> , <i>TB3</i> , <i>TB4</i> , <i>TB5</i> e <i>TB6</i> para Paso de Los Libres.	146
Figura 8.1 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada pelo método da MV (resultados iguais pelos momentos B e UB) utilizando as distribuições: (a) LN3; (b) GLOG; (c) EV1; (d) LOG, para UHE Sobradinho.	174
Figura 8.2 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada pelo método da MV (resultados iguais pelos momentos B e UB) utilizando as distribuições: (a) LN2; (b) GAM; (c) LPIII; (d) PIII, para UHE Sobradinho.	175
Figura 8.3 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada pelo método da MM para o momento B utilizando as distribuições: (a) PIII; (b) GPAR; (c)W, para UHE Sobradinho...	176
Figura 8.4 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada pelo método da MP para o momento B utilizando as distribuições: (a) GEV; (b) EXP, para UHE Sobradinho.	176
Figura 8.5 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada pelo método da MM para o momento B utilizando as distribuições: (a) GLOG; (b) W; (c) LN2, para UHE Três Marias.	177
Figura 8.6 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada pelo método da MV (resultados iguais pelos momentos B e UB) utilizando as distribuições: (a) PIII; (b) LN3; (c) EV1; (d) GAM; (e) LPIII, para UHE Três Marias.	178
Figura 8.7 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada pelo método da MP para o momento B utilizando as distribuições: (a) GEV; (b) GPAR; (c) N; (d) EXP; (e) LOG, para UHE Três Marias.	179
Figura 8.8 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada para a Série 1 e subséries utilizando os métodos: (a) B e UB-MV-EV1; (b) B-MP-EXP; (c) B-MM-LPIII, para Paso de Los Libres.	180
Figura 8.9 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada para a Série 1_SSRH e subséries utilizando os métodos: (a) B e UB-MV-EV1; (b) B-MP-EXP; (c) B e UB-MV-LPIII, para Paso de Los Libres.	181
Figura 8.10 - Vazões estimadas pelo método da AFC ajustada pelo método: (a) MQ; (b) MM e (c) MV, para UHE Sobradinho.	182
Figura 8.11 - Vazões estimadas pelo método da AFC ajustada pelo método: (a) MQ; (b) MM e (c) MV, para UHE Três Marias.	184
Figura 8.12 - Vazões estimadas pelo método do HMMP utilizando d.e.s. para: (a) <i>TB1</i> ; (b) <i>TB2</i> e (c) <i>TB3</i> , para UHE Sobradinho.	188
Figura 8.13 - Vazões estimadas pelo método do HMMP utilizando r.l.s. para: (a) <i>TB1</i> ; (b) <i>TB2</i> e (c) <i>TB3</i> , para UHE Sobradinho.	189
Figura 8.14 - Vazões estimadas pelo método do HMMP utilizando d.e.s. para: (a) <i>TB1</i> ; (b) <i>TB2</i> e (c) <i>TB3</i> , para UHE Três Marias.	193
Figura 8.15 - Vazões estimadas pelo método do HMMP utilizando r.l.s. para: (a) <i>TB1</i> ; (b) <i>TB2</i> e (c) <i>TB3</i> , para UHE Três Marias.	194
Figura 8.16 - Vazões estimadas pelo método do HMMP utilizando d.e.s. para: (a) <i>TB1</i> ; (b) <i>TB2</i> e (c) <i>TB3</i> , para Paso de Los Libres.	198
Figura 8.17 - Vazões estimadas pelo método do HMMP utilizando r.l.s. para: (a) <i>TB1</i> ; (b) <i>TB2</i> e (c) <i>TB3</i> , para Paso de Los Libres.	199

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadros

Quadro 2.1 - Classificação da consequência de ruptura de barragens e critérios mínimos usuais para cheias de projeto (adaptado de CBDB (2001) e Brasil (2002)).	30
Quadro 2.2 - Fórmulas para o cálculo da posição de plotagem F (adaptada de Cunnane (1978); Stedinger (1993); Rao; Hamed (2000)).	38
Quadro 2.3 - Distribuições utilizadas em análise de frequência de cheias (BOBÉE et al., 1993).	39
Quadro 2.4 - Funções de distribuição de probabilidade.	39
Quadro 3.1 - Testes utilizados na análise estatística das séries de dados quanto a representatividade, aleatoriedade, homogeneidade, estacionariedade e presença de outlier.	51
Quadro 3.2 - Combinações entre os métodos de AFL disponíveis no software Flood Frequency Analysis (RAO; HAMED, 2003).	54
Quadro 3.3 - Indicação das séries utilizadas nas análises dos resultados e nas comparações entre os métodos.	58
Quadro 4.1 - Resultado da aplicação dos testes estatísticos (nível de significância de 5%).	63

Tabelas

Tabela 3.1 - Características principais das estimativas das cheias de projeto CMP nos aproveitamentos em estudo (Fonte: CBDB (2010), SOUZA (2006)).	48
Tabela 3.2 - Estações fluviométricas localizadas na Bacia do Rio Uruguai (Fonte: CNEC/ESIN/PROA (2010)).	49
Tabela 3.3 - Ordenadas do Hidrograma Unitário Curvilíneo (HUC) de Victor Mockus (MCCUEN, 1989).	58
Tabela 4.1 - Estatísticas descritivas das séries de vazões diárias máximas anuais.	62
Tabela 4.2 - Valores dos testes estatísticos e p -valores para os aproveitamentos hidrelétricos.	64
Tabela 4.3 - Valores dos testes estatísticos e p -valores para estações fluviométricas da bacia do rio Uruguai.	65
Tabela 4.4 - Estatísticas descritivas da série completa (Série 1) e subséries de vazões diárias máximas anuais (m^3/s) da UHE Sobradinho.	69
Tabela 4.5 - Métodos estatísticos selecionados para o estudo da AFL, através da avaliação do erro padrão médio (EP) e dos testes de aderência, para UHE Sobradinho.	70
Tabela 4.6 - Parâmetros das distribuições selecionadas para o estudo da AFL para a Série 1 e subséries de vazões diárias máximas anuais (m^3/s) da UHE Sobradinho.	72
Tabela 4.7 - Vazões (m^3/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pelo método AFL, diferença percentual máxima (DM) entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a $Q_{máx}$.	73
Tabela 4.8 - Diferença percentual máxima (DM) entre as vazões (m^3/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas pelo método AFL e para as diferentes análises, na UHE Sobradinho.	74
Tabela 4.9 - Parâmetros da distribuição probabilística GEV ajustadas para UHE Sobradinho.	78
Tabela 4.10 - Vazões (m^3/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pela distribuição GEV, diferença percentual máxima (DM) entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a $Q_{máx}$, na UHE Sobradinho.	79
Tabela 4.11 - Parâmetros do método da AFC para a Série 1 e subséries de vazões diárias máximas anuais (m^3/s) da UHE Sobradinho.	83
Tabela 4.12 - Vazões (m^3/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pelo método AFC, diferença percentual máxima (DM) entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a $Q_{máx}$, para UHE Sobradinho.	84

Tabela 4.13 - Diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões decamilenares (<i>Q</i> 10.000) inferidas pelo método AFC e para as diferentes análises, para UHE Sobradinho.....	85
Tabela 4.14 - Raiz do Erro Quadrático Médio (<i>RMSE*</i>), em m ³ /s, das vazões estimadas pelo método AFC, para UHE Sobradinho.....	86
Tabela 4.15 - Parâmetros do método da AFC pelo MQ para a Série 1 e Série 1 s_outlier, <i>Q</i> 10.000 e <i>DM</i> entre as vazões inferidas, para UHE Sobradinho.....	90
Tabela 4.16 - Parâmetros do método do HMMP para a Série 1 e subséries de vazões diárias máximas anuais (m ³ /s) da UHE Sobradinho.	91
Tabela 4.17 - Vazões (m ³ /s) decamilenares (<i>Q</i> 10.000) estimadas pelo método do HMMP, <i>DM</i> entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a <i>Q</i> max, para UHE Sobradinho.	92
Tabela 4.18 - Diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões decamilenares (<i>Q</i> 10.000) inferidas pelo método do HMMP e para as diferentes análises, para UHE Sobradinho.	92
Tabela 4.19 - Raiz do Erro Quadrático Médio (<i>RMSE*</i>), em m ³ /s, das vazões estimadas pelo método HMMP, para UHE Sobradinho.	94
Tabela 4.20 - Relações observadas entre picos e médias, UHE Sobradinho.....	98
Tabela 4.21 - Estatísticas descritivas da série completa (Série 1) e subséries de vazões diárias máximas anuais (m ³ /s) da UHE Três Marias.....	102
Tabela 4.22 - Métodos estatísticos selecionados para o estudo da AFL, através da avaliação do erro padrão médio (<i>EP</i>) e dos testes de aderência, para UHE Três Marias.	103
Tabela 4.23 - Parâmetros das distribuições selecionadas para o estudo da AFL para a Série 1 e subséries de vazões diárias máximas anuais (m ³ /s) da UHE Três Marias.....	104
Tabela 4.24 - Vazões (m ³ /s) decamilenares (<i>Q</i> 10.000) estimadas pelo método AFL, diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a <i>Q</i> max, para a UHE Três Marias.	105
Tabela 4.25 - Diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões decamilenares (<i>Q</i> 10.000) inferidas pelo método AFL e para as diferentes análises, para UHE Três Marias.	106
Tabela 4.26 - Parâmetros da distribuição probabilística LN2, para UHE Três Marias.....	109
Tabela 4.27 - Vazões (m ³ /s) decamilenares (<i>Q</i> 10.000) estimadas pela distribuição LN2, diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a <i>Q</i> max, para a UHE Três Marias.....	109
Tabela 4.28 - Parâmetros do método da AFC para a Série 1 e subséries de vazões diárias máximas anuais da UHE Três Marias.	113
Tabela 4.29 - Vazões (m ³ /s) decamilenares (<i>Q</i> 10.000) estimadas pelo método AFC, diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a <i>Q</i> max, para UHE Três Marias.....	114
Tabela 4.30 - Diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões decamilenares (<i>Q</i> 10.000) inferidas pelo método AFC e para as diferentes análises, para UHE Três Marias.....	114
Tabela 4.31 - Raiz do Erro Quadrático Médio (<i>RMSE*</i>), em m ³ /s, das vazões estimadas pelo método AFC, para UHE Três Marias.	115
Tabela 4.32 - Parâmetros do método da AFC pelo MM para a Série 1, <i>Q</i> 10.000 (m ³ /s) e <i>DM</i> entre as vazões inferidas, para a UHE Três Marias.....	117
Tabela 4.33 - Parâmetros do método do HMMP para a Série 1 e subséries de vazões diárias máximas anuais (m ³ /s) da UHE Três Marias.....	119
Tabela 4.34 - Vazões (m ³ /s) decamilenares (<i>Q</i> 10.000) estimadas pelo método do HMMP, diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a <i>Q</i> max, para UHE Três Marias.	120
Tabela 4.35 - Diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões decamilenares (<i>Q</i> 10.000) inferidas pelo método do HMMP e para as diferentes análises, para UHE Três Marias.	120
Tabela 4.36 - Raiz do Erro Quadrático Médio (<i>RMSE*</i>) das vazões estimadas pelo método HMMP, para UHE Três Marias.....	121

Tabela 4.37 - Relações observadas entre picos e médias, UHE Três Marias.	125
Tabela 4.38 - Estatísticas descritivas das séries completas (Série 1 e Série 1_SSRH) e subséries de vazões diárias máximas anuais (m^3/s), em Paso de Los Libres.	129
Tabela 4.39 - Métodos estatísticos selecionados para o estudo da AFL, através da avaliação do erro padrão médio (<i>EP</i>) e dos testes de aderência, em Paso de Los Libres.	130
Tabela 4.40 - Parâmetros das distribuições selecionadas para o estudo da AFL para a Série 1, Série 1_SSRH e subséries de vazões diárias máximas anuais (m^3/s) em Paso de Los Libres.	132
Tabela 4.41 - Vazões (m^3/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pelo método AFL, diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões inferidas e relações com a <i>QProjeto</i> e com a <i>Qmáx</i> , em Paso de Los Libres.	132
Tabela 4.42 - Diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas pelo método AFL e para as diferentes análises, em Paso de Los Libres.	133
Tabela 4.43 - Parâmetros da distribuição probabilística LPIII, para Paso de Los Libres.	134
Tabela 4.44 - Vazões (m^3/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pela distribuição LPIII, diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões inferidas e relações com a <i>QProjeto</i> e com a <i>Qmáx</i> , para série do inventário, em Paso de Los Libres.	135
Tabela 4.45 - Vazões (m^3/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pela distribuição LPIII, diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões inferidas e relações com a <i>QProjeto</i> e com a <i>Qmáx</i> , para série da SSRH, em Paso de Los Libres.	136
Tabela 4.46 - Parâmetros do método do HMMP para a Série 1_SSRH e subséries de vazões diárias máximas anuais (m^3/s) da estação fluviométrica Paso de Los Libres.	139
Tabela 4.47 - Vazões (m^3/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pelo método do HMMP, diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a <i>Qmáx</i> , para UHE Paso de Los Libres.	140
Tabela 4.48 - Diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas pelo método do HMMP e para as diferentes análises, para Paso de Los Libres.	140
Tabela 4.49 - Raiz do Erro Quadrático Médio (<i>RMSE*</i>), em m^3/s , das vazões estimadas pelo método HMMP para Paso de Los Libres.	142
Tabela 4.50 - Relações observadas entre picos e médias na estação Paso de Los Libres.	144
Tabela 4.51 - Parâmetros e vazões (m^3/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) do método do HMMP para a Série 1_SSRH utilizando os <i>TB4</i> , <i>TB5</i> e <i>TB6</i> da estação fluviométrica Paso de Los Libres.	146
Tabela 5.1 - Diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões (m^3/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas para as diferentes análises e métodos, para UHE Sobradinho.	148
Tabela 5.2 - Diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas para as diferentes análises e métodos, para UHE Três Marias.	149
Tabela 5.3 - Diferença percentual máxima (<i>DM</i>) entre as vazões decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas para as diferentes análises e métodos, para estação fluviométrica Paso de Los Libres.	150
Tabela 8.1 - Série Completa (Série 1) e subséries de vazões diárias máximas anuais (m^3/s) utilizadas nas análises da UHE Sobradinho.	165
Tabela 8.2 - Série Completa (Série 1) e subséries de vazões diárias máximas anuais (m^3/s) utilizadas nas análises da UHE Três Marias.	167
Tabela 8.3 - Série Completa (Série 1*) e subséries de vazões diárias máximas anuais (m^3/s) utilizadas nas análises da estação fluviométrica Paso de Los Libres.	169
Tabela 8.4 - Série Completa (Série 1_SSRH*) e subséries de vazões diárias máximas anuais (m^3/s) utilizadas nas análises da estação fluviométrica Paso de Los Libres.	171

Tabela 8.5 - Vazões (m^3/s) estimadas pelo método do AFC utilizando o MQ, Série 1 e Série 1 s_outlier, para análise da sensibilidade do método ao valor da CMP, para UHE Sobradinho.	183
Tabela 8.6 - Diferença percentual máxima (DM) entre as vazões (m^3/s) inferidas pelo método AFC utilizando o MQ, Série 1 e Série 1 s_outlier, para análise da sensibilidade do método ao valor da CMP, para UHE Sobradinho.	183
Tabela 8.7 - Vazões (m^3/s) estimadas pelo método do AFC utilizando o MM para análise da sensibilidade do método ao valor da CMP, para a Série 1 da UHE Três Marias.	185
Tabela 8.8 - Diferença percentual máxima (DM) entre as vazões (m^3/s) inferidas pelo método AFC utilizando o MM, para a Série 1 da UHE Três Marias, na análise da sensibilidade do método ao valor da CMP.	185
Tabela 8.9 - Séries de vazões máximas médias diárias anuais e vazões médias com duração de $TB1$, $TB2$ e $TB3$, ordenadas para serem plotadas num papel mono-logarítmico, para UHE Sobradinho.	186
Tabela 8.10 - Vazões de pico diário (QP) estimadas pelo método do HMMP pela Série 1, para UHE Sobradinho.	190
Tabela 8.11 - Diferença entre as vazões inferidas pela d.e.s. e a r.l.s. pelo método do HMMP, utilizando os parâmetros ajustados para a Série 1 da UHE Sobradinho.	190
Tabela 8.12 - Séries de vazões máximas médias diárias anuais e vazões médias com duração de $TB1$, $TB2$ e $TB3$, ordenadas para serem plotadas num papel mono-logarítmico, para UHE Três Marias.	191
Tabela 8.13 - Vazões de pico diário (QP) estimadas pelo método do HMMP pela Série 1, para UHE Três Marias.	195
Tabela 8.14 - Diferença entre as vazões inferidas pela d.e.s. e a r.l.s. pelo método do HMMP, utilizando os parâmetros ajustados para a Série 1 da UHE Três Marias.	195
Tabela 8.15 - Diferença entre as vazões inferidas para os $TB1$, $TB2$ e $TB3$ pelo método do HMMP, utilizando os parâmetros ajustados para a Série 1 da UHE Três Marias.	195
Tabela 8.16 - Séries de vazões (m^3/s) máximas médias diárias anuais e com duração $TB1$, $TB2$, $TB3$, $TB4$, $TB5$ e $TB6$, para estação Paso de Los Libres.	196
Tabela 8.17 - Vazões de pico diário (QP) estimadas pelo método do HMMP pela Série 1_SSRH, para Paso de Los Libres.	200
Tabela 8.18 - Diferença entre as vazões inferidas pela d.e.s. e a r.l.s. pelo método do HMMP, utilizando os parâmetros ajustados para a Série 1_SSRH para Paso de Los Libres.	200
Tabela 9.1 - Aproveitamentos e reservatórios de vertedouros brasileiros (CBDB, 2010).	203
Tabela 9.2 - Cheias de projeto para os principais vertedouros brasileiros (CBDB, 2010).	205
Tabela 9.3 - Coeficientes de segurança da d.e.s. (CONTE, 2012).	215
Tabela 9.4 - Séries de vazões diárias máximas anuais, obtidas a partir dos dados da ONS (2012), para os aproveitamento de Caconde, Funil e Furnas.	216
Tabela 9.5 - Séries de vazões diárias máximas anuais, obtidas a partir dos dados da ONS (2012), para os aproveitamento de Ilha Solteira, Itaipu e Jupia.	218
Tabela 9.6 - Séries de vazões diárias máximas anuais, obtidas a partir dos dados da ONS (2012), para os aproveitamento de Mascarenhas de Moraes (Peixoto), Paraibuna/Paraitinga, Porto Primavera.	220
Tabela 9.7 - Séries de vazões diárias máximas anuais, obtidas a partir dos dados da ONS (2012), para os aproveitamento de Sobradinho e Três Marias.	222
Tabela 9.8 - Séries de vazões diárias máximas anuais (m^3/s), obtidas a partir dos dados da CNEC/ESIN/PROA (2010), para El Soberbio, Garruchos, Paso De Los Libres e San Javier.	224
Tabela 9.9 - Séries de vazões diárias máximas anuais, obtidas a partir dos dados da SSRH (2010), para Paso de Los Libres.	226

LISTA DE ABREVIATURAS

AFC	Análise de Frequência Conjugada
AIQ	Amplitude Inter-Quartis
B	Biased (tendencioso)
BH	Bacia Hidrográfica
CMP	Cheia Máxima Provável
d.e.s.	Distribuição Exponencial Simples
EXP	Distribuição Exponencial
GAM	Distribuição Gamma
GEV	Distribuição Generalizada de Valores Extremos
GLOG	Distribuição Logística Generalizada
GPAR	Distribuição Pareto Generalizada
HMMP	Hidrograma Máximo Mais Provável
HUC	Hidrograma Unitário Curvilíneo
LN2	Distribuição Log-Normal 2 parâmetros
LN3	Distribuição Log-Normal 3 parâmetros
LOG	Distribuição Logística
LOGN	Distribuição Log-Normal
LPIII	Distribuição Log-Pearson tipo III
MM	Método dos Momentos
MM-LH	Método dos momentos LH com $\eta = 4$
MP	Método dos Momentos Ponderados por Probabilidade
MQ	Método dos Mínimos Quadrados
MV	Método da Máxima Verossimilhança
N	Distribuição Normal
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PEA	Probabilidade de Excepcionalidade Anual
PIII	Distribuição Pearson tipo III
PMP	Precipitação Máxima Provável
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
r.l.s.	Regressão Linear Simples
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
UB	Unbiased (não tendencioso)
VE1	Distribuição Gumbel ou Valores Extremos tipo – I
W	Distribuição Weibul
WK4	Distribuição Wakeby 4 parâmetros
WK5	Distribuição Wakeby 5 parâmetros
WMO	World Meteorological Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Alfa (parâmetro de algumas das distribuições de probabilidade);
β	Beta (parâmetro de algumas das distribuições de probabilidade);
CK	Coefficiente de Curtose (adimensional);
CS	Coefficiente de Assimetria (adimensional);
DM	Diferença Máxima percentual (%);
DP	Desvio Padrão, $[L^3T^{-1}]$;
EP	Erro Padrão médio, $[L^3T^{-1}]$;
γ	Gamma (parâmetro de algumas das distribuições de probabilidade);
$L-CK$	Coefficiente de Curtose-L
$L-CS$	Coefficiente de Assimetria-L
μ	Mi (parâmetro de algumas das distribuições de probabilidade);
$N_{VALORES}$	Número de valores;
k	Relação entre pico e média excedentes igual a 3,7453 pelo HUC de Mockus (adimensional);
$k *$	Relação entre pico e média excedentes observados (adimensional);
σ	Sigma (parâmetro de algumas das distribuições de probabilidade);
TB	Tempo de Base do hidrograma de projeto (dias);
T	Tempo de retorno (anos);
Q_B	Vazão de base do hidrograma, $[L^3T^{-1}]$;
$Q_{10.000}$	Vazão diária máxima estimada para o tempo de retorno de 10.000 anos, $[L^3T^{-1}]$;
$Q_{m\acute{a}x}$	Vazão máxima da série de dados naturalizados ou observados, $[L^3T^{-1}]$;
Q_{TB}	Vazão Média com duração característica TB , $[L^3T^{-1}]$;
Q_{MLT}	Vazão Média de Longo Termo, $[L^3T^{-1}]$;
Q_P	Vazões dos Picos diários de projeto considerando o método HMMP, $[L^3T^{-1}]$;
$Q_{Projeto}$	Vazão de projeto ou cheia de projeto, $[L^3T^{-1}]$;
$RMSE$	Raiz do Erro Quadrático Médio, $[L^3T^{-1}]$.

Dimensões utilizadas correspondentes às unidades no Sistema Internacional (S.I.).

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	25
1.1 Contextualização dos problemas relativos às cheias	26
1.2 Objetivos	28
2 DETERMINAÇÃO DE VALORES MÁXIMOS DE VAZÃO.....	29
2.1 Verificação dos dados amostrais.....	31
2.2 Método Estatístico - Análise de Frequência Local (AFL)	36
2.3 Método de Análise de Frequência Conjugada (AFC).....	40
2.4 Hidrograma Máximo Mais Provável (HMMP).....	43
3 MATERIAIS E MÉTODOS	47
3.1 Aquisição dos dados	47
3.2 Premissas para a aplicação dos métodos - Tratamento dos dados	49
3.3 Método Estatístico - Análise de Frequência Local (AFL)	52
3.4 Método Conjugado - Análise de Frequência Conjugada (AFC).....	55
3.5 Método do Hidrograma Máximo Mais Provável (HMMP)	55
3.6 Avaliação e comparação dos métodos	58
4 ESTUDOS DE CASO	61
4.1 Aquisição e Tratamento dos Dados	61
4.2 UHE Sobradinho	67
4.3 UHE Três Marias	100
4.4 Estação Fluviométrica Paso de Los Libres	126
5 ANÁLISE CRÍTICA DOS MÉTODOS.....	147
5.1 Comparação entre os métodos	148
5.2 AFL	151
5.3 AFC.....	153
5.4 HMMP	154
6 CONCLUSÕES	156
7 REFERÊNCIAS	158

8 APÊNDICES 163

Apêndice I : Séries e subséries utilizadas nas análises 165

Apêndice II : Resultados para o método da Análise de Frequência Local (AFL)..... 174

Apêndice III : Resultados para o método da Análise de Frequência Conjugada (AFC). 182

Apêndice IV : Resultados para o método do Hidrograma Máximo Mais Provável (HMMP) 186

9 ANEXOS 201

Anexo I : Dados dos principais vertedouros brasileiros e critérios de projeto 203

Anexo II : Testes de hipótese não paramétricos 207

Anexo III : Coeficiente de segurança da d.e.s. 215

Anexo IV : Séries de vazões máximas anuais 216

1 INTRODUÇÃO

Os estudos hidrológicos para a determinação dos valores máximos de vazões de projeto para grandes bacias hidrográficas apresenta interesse principalmente no dimensionamento de estruturas hidráulicas, como vertedores de barragens, e nos estudos de inundações para demarcação das zonas de cheia. Os valores máximos de projeto são elementos imprescindíveis ao dimensionamento e envolvem decisões determinantes no que se refere aos custos e segurança de empreendimentos, uma vez que a definição destes valores também constituem elementos para simular condições adversas às quais grandes bacias hidrográficas são suscetíveis. Entende-se como grande bacia hidrográfica a bacia com área maior que 100 km² (CAMPOS, 2009) e na qual as seguintes premissas nas formulações de modelos matemáticos devem ser adotadas: a intensidade da chuva varia temporal e espacialmente ao longo da bacia e os processos de armazenamento em canais são significativos (PONCE¹, 1989 *apud* CAMPOS, 2009).

Os métodos estatístico e determinístico são os tradicionalmente mais utilizados nesse tipo de estudo. No entanto, esses métodos vêm recebendo diversas críticas quanto à capacidade de estabelecer os critérios de projeto. Com o intuito de obter valores mais realistas e consistentes foram propostos os métodos da Análise de Frequência Conjugada – AFC (GARCIA; BRAGA JR, 1997; GARCIA, 1996a) e, mais recentemente, o do Hidrograma Máximo Mais Provável – HMMP (CONTE, 2012).

A análise de frequência (método estatístico) das variáveis hidrológicas consiste em calcular as probabilidades de excedência e em seguida ajustar à distribuição probabilística mais adequada. As distribuições de probabilidade relacionam a magnitude dos eventos com sua frequência de ocorrência. No estudo de máximos locais são analisadas as séries anuais ou parciais formadas pelos máximos valores da variável hidrológica. As condições necessárias para as séries a serem utilizadas são de que os dados sejam representativos, ou seja, não apresentem erros de observação e/ou sistemáticos, possuam número suficiente de elementos e que seus dados sejam homogêneos e independentes.

---

¹ PONCE, V. M. Engineering hydrology principles and practices. Prentice Hall New Jersey, 1989.

O método determinístico emprega os conceitos da Precipitação Máxima Provável (PMP), apresentado no Manual de Estimação da PMP elaborado pela WMO (1986), e da Cheia Máxima Provável (CMP), obtida através de modelos de transformação chuva-vazão. Essa metodologia utiliza dados hidrometeorológicos para determinação de eventos extremos através da combinação rara de fenômenos de formação da precipitação e das condições da bacia hidrográfica.

A AFC, também chamada método Conjugado, surgiu da combinação das técnicas probabilística e determinística. Considera a série de dados hidrológicos observados para ajustar a curva de distribuição probabilística, obtida a partir do uso da distribuição generalizada de valores (GEV) tipo 3 cujo limite superior corresponde ao limite físico das variáveis hidrológicas, no caso da vazão esse limite é considerado igual à CMP (GARCIA, 1996a). Esta análise revela-se consistente em relação às evidências físicas, uma vez que a extensão da série de dados hidrológicos observados, a presença de *outliers* e a variação dos menores valores da série de máximos têm pouca influência sobre os valores máximos inferidos (GARCIA, 1996a).

O método do HMMP, proposto por Conte (2012), utiliza os conceitos do Hidrograma Unitário Curvilíneo (HUC) de Victor Mockus, desenvolvido no âmbito do órgão norte-americano U.S. Soil Conservation Service (1972), que emprega o trabalho de Huff (1967), referente a análise da distribuição temporal de chuvas intensas no Estado de Illinois (USA). De acordo com esse método deve ser fixado, primeiramente, o volume do hidrograma de projeto e seu respectivo tempo de retorno para que posteriormente seja determinado o valor do pico correspondente a esse volume.

1.1 Contextualização dos problemas relativos às cheias

O número de ocorrência de desastres causados por cheias, registrados no International Disaster Database (EM-DAT) são apresentados no mapa da Figura 1.1, os países em vermelho apresentaram mais de 60 desastres no período de 1974-2003 (30 anos), sendo o Brasil um dos países mais atingidos. No Atlas de Desastres Naturais são registradas 3.673 ocorrências de desastres naturais causados por inundações graduais ou enchentes e 6.731 inundações bruscas ou alagamentos, entre o período de 1991 a 2010 (CEPED, 2012). Os prejuízos causados por enchentes nos EUA, publicados no National Weather Service (NWS), incluem expressivos números de mortes, mais de 500 mortes nos anos de 1913 e 1972, e prejuízos financeiros, chegando a mais de \$50 bilhões de dólares no ano de 2005 (Figura 1.2).

Figura 1.1 - Número de ocorrências de desastres causados por cheias no período de 1974-2003
(Fonte: Adaptado de EM-DAT, 2013).

Figura 1.2 - Prejuízos causados por enchentes nos EUA, adaptado das informações publicadas no National Weather Service (NOAA, 2013).

No Brasil, um dos registros históricos de rompimentos de barragens ocorreu na barragem Euclides da Cunha localizada no rio Pardo, a cerca de 6 km a jusante de São José do Rio Pardo (SP), em 19/01/1977, que sofreu ruptura por galgamento (Figura 1.3) decorrente de fortes precipitações (260 mm nas 24 h precedentes). Entre os anos de 2000 e 2011, mais de 800 acidentes e incidentes com barragens ocorreram no Brasil (MENESCAL, 2011). Em 2011, na cidade de Palmácia (CE), ocorreu o galgamento e consequente ruptura causada pela cheia ocorrida ter sido superior à capacidade do vertedouro, causando alagamento de casas, danos e destruição de plantações de bananeiras, e ocasionando cheia milenar no Açude

Acarapé do Meio (MENESCAL, 2011). Em 2011 ocorreu o transbordamento de uma represa na área rural de Borebi, na região do córrego Faxinal e Ribeirão da Prata, Lençóis Paulista (SP). Outros casos são relatados por Menescal (2011) e em muitos a causa relatada é de que a cheia ocorrida foi superior à capacidade da estrutura hidráulica.

Figura 1.3 - Ruptura na barragem Euclides da Cunha (MENESCAL, 2011).

Na análise aos principais vertedouros brasileiros, indicados nas Tabela 9.1 e Tabela 9.2 do Anexo I, observa-se que para 61 locais, 23 possuem a cheia de projeto determinada como a CMP e em 24 locais esse valor foi determinado pela cheia decamilenar.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo aplicar os métodos de Análise de Frequência Local (AFL), Análise de Frequência Conjugada (AFC) e Hidrograma Máximo Mais Provável (HMMP) para obtenção de valores extremos de vazão para grandes bacias hidrográficas. Através de estudos de caso pretende-se realizar a análise comparativa dos referidos métodos com vistas à identificação do método com maior aplicabilidade para obtenção de vazões máximas de projeto.

A consecução de tal objetivo compreende:

- Estudar a metodologia do Hidrograma Máximo Mais Provável, desenvolvida por Conte (2012), para a estimação das vazões máximas e hidrogramas de projeto;
- A avaliação da estabilidade dos métodos e da sensibilidade à extensão das séries de dados hidrológicos observados, à presença de *outliers* e à variação dos menores valores da série de máximos, nos valores máximos inferidos pelos métodos; e,
- A comparação dos métodos propriamente ditos, utilizando estudos de casos e através da análise crítica dos métodos.

2 DETERMINAÇÃO DE VALORES MÁXIMOS DE VAZÃO

As cheias de projeto, em grandes bacias hidrográficas, usualmente são determinadas pelo método estatístico ajustando-se curvas de distribuição de probabilidade, e pelo método determinístico através da obtenção da Precipitação Máxima Provável (PMP) e da Cheia Máxima Provável (CMP). No Guia para Cálculo de Cheia de Projeto de Vertedores (ELETROBRÁS, 1987) a cheia de projeto é entendida como "[...] a hidrógrafa afluente ao aproveitamento tal que a capacidade dos vertedores e os efeitos de amortecimento do reservatório sejam definidos conjuntamente para garantir a segurança da barragem na hipótese de ocorrência deste evento".

No dimensionamento de obras hidráulicas, a estimativa da vazão máxima e do hidrograma de projeto devem reproduzir as condições críticas associada a um determinado risco. Em grandes obras, como barragens e pontes, a falha nos critérios hidrológicos especificados pode levar a implicações catastróficas como perdas de vida humanas e de infraestruturas.

No Brasil, a Lei 12.334, de setembro de 2010 estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). A PNSB tem como objetivo, de forma geral: garantir a observância de padrões de segurança de barragens; regulamentar, monitorar e acompanhar as ações de segurança, ampliando o controle do poder público e reunindo informações que subsidiem o gerenciamento pelos governos; estabelecer conformidades de natureza técnica; e fomentar a cultura de segurança de barragens e gestão de risco (BRASIL, 2010).

Os padrões de segurança usualmente adotados no Brasil, de acordo com as consequências de ruptura dos empreendimentos, definem os critérios mínimos para o cálculo da cheia de projeto. As consequências de ruptura recebem uma classificação principalmente pela avaliação das potenciais perdas de vida, e também dos danos econômicos, sociais e ambientais. A Cheia Máxima Provável (CMP) e a Probabilidade de Excepcionalidade - PEA de 1/1000 são indicadas para determinação da Cheia Afluente de Projeto - CAP (Quadro 2.1). Neste trabalho, a CAP é denominada simplesmente por cheia de projeto.

Quadro 2.1 - Classificação da consequência de ruptura de barragens e critérios mínimos usuais para cheias de projeto (adaptado de CBDB (2001) e Brasil (2002)).

Consequência de ruptura	Perda de vidas	Dano econômico, social e ambiental^(a)	Cheia afluyente de projeto (CAP)
Muito Alta	Significativa	Excessivo	Cheia Máxima Provável (CMP) ^(b)
Alta	Alguma	Substancial	Probabilidade de Excepcionalidade Anual (PEA) entre 1/1000 e a CMP ^(c)
Baixa	Nenhuma	Moderado	PEA de 1/1000 ^{(c) e (d)}
Muito Baixa	Nenhuma	Mínimo	-

(a) Os critérios de classificação de categorias de danos econômicos, sociais e ambientais devem ser baseados nas consequências das perdas em relação à região afetada; (b) Um nível apropriado de conservadorismo deve ser aplicado ao carregamento provocado por esse evento, a fim de reduzir os riscos de ruptura da barragem a valores toleráveis. Assim, a probabilidade de ruptura da barragem poderia ser muito menor do que a probabilidade de um carregamento por evento extremo; (c) Dentro da categoria de Alta consequência de ruptura, a CAP é baseada nas consequências da ruptura. Por exemplo, se uma fatalidade incremental resultasse de uma ruptura, um PEA de 1/1000 poderia ser aceitável, mas para as consequências próximas daquelas de uma barragem de consequência Muito Alta, cheias de projeto que se aproximem da CMP poderiam ser necessárias; (d) Se uma estrutura de Baixa consequência de ruptura não pode suportar o critério mínimo, o nível de atualização pode ser determinado por análises de riscos econômicos, com consideração aos impactos sociais e ambientais.

A definição da cheia de projeto consiste de uma decisão muitas vezes cercada de insegurança e de difícil determinação. Apesar das indicações do PNSB para a utilização da CMP e da PEA, não existe um consenso sobre qual método e ferramentas são mais adequados e apresentam maior segurança para a determinação da cheia de projeto, além disso, essa determinação está associada a custos e riscos. Dentre os métodos existentes destacam-se o método determinístico de determinação da CMP (WMO, 1986) e a análise estatística amplamente utilizada para determinação da PEA através da análise de frequência (local ou regional) de séries de vazões médias máximas (anuais ou parciais) (KATZ; PARLANGE; NAVEAU, 2002; RAO; HAMED, 2000; VILLARINI et al., 2011).

A determinação de valores máximos relacionadas a períodos de retorno muito superiores à extensão da série histórica, causa insegurança pela forte dependência do método estatístico do período correspondente à série em análise. O método estatístico apresenta resultados discrepantes e muitas vezes não condizentes com os aspectos físicos da bacia hidrográfica (GARCIA, 1996a; QUEIROZ, 2002). Para determinação de valores máximos torna-se difícil definir qual a melhor distribuição, bem como, qual teste de aderência, fórmula de posição de plotagem, extensão e características da série de dados que devem ser utilizados (GARCIA, 1996a). Os intervalos de confiança, usados para indicar a confiabilidade de uma estimativa calculada através do ajuste de distribuições de probabilidade, definem o limite inferior e superior da região de confiança em torno da curva de distribuição ajustada.

Em relação ao método determinístico para obtenção da CMP as críticas decorrem principalmente da falta de capacidade de serem obtidas probabilidades associadas aos valores

máximos, o que não permite a análise de risco e dificulta o processo de tomada de decisões (GARCIA, 1996a; SOUZA, 2006). Além disso, as dificuldades na quantificação da variabilidade espaço-temporal dos fatores utilizadas na determinação da PMP também incidem em problemas na determinação da CMP. Estudos recentes da determinação da vazão máxima de projeto têm sido direcionados para a combinação dos métodos estatístico e determinístico (FERNANDES; NAGHETTINI; LOSCHI, 2010; LIMA, 2005), como na metodologia denominada Análise de Frequência Conjugada – AFC (GARCIA; BRAGA JR, 1997; GARCIA, 1996a; SOUZA, 2006). Conte (2012) faz críticas aos métodos usuais, estatístico e determinístico, de análise de máximos, e afirma que o método do Hidrograma Máximo Mais Provável (HMMP) apresenta elementos e subsídios para o estabelecimento de um modelo mais efetivo.

O método HMMP tem suas bases no conceito da entropia e pode ser utilizado para previsão de picos e hidrogramas de cheias. O método utiliza as equações de regressão linear simples (r.l.s.) ou da distribuição exponencial simples (d.e.s.) ajustadas para os volumes médios com intervalo de tempo igual ao tempo de base (T_B) e estima os parâmetros obtendo a equação da vazão média com tempo de base T_B (Q_{TB}) utilizada para determinação das vazões de pico (Q_P). Segundo Mockus, através da avaliação de diversos hidrogramas observados, o hidrograma mais provável de ocorrer nas bacias hidrográficas atendem a seguinte relação entre os volumes excedentes, dada por: $k = \text{pico}/\text{média} = (Q_P - Q_B)/(Q_{TB} - Q_B) = 3,7453$, sendo Q_B a vazão de base do hidrograma (CONTE, 2012).

Nesta seção serão apresentadas as bases teóricas relacionadas aos métodos utilizados no estudo da determinação de vazões máximas. Inicialmente serão expostos os testes estatísticos de avaliação das séries de dados, utilizados para seleção e tratamento de séries hidrológicas a serem estudadas. Para a determinação das cheias de projeto os métodos avaliados serão a análise estatística AFL, o método determinístico através da utilização da CMP, o método conjugado AFC e o método do HMMP. Os métodos utilizados serão descritos de forma a apresentar os conceitos e equacionamentos e posterior análise crítica das aplicações e resultados.

2.1 Verificação dos dados amostrais

Do ponto de vista da teoria de probabilidade estatística, os dados amostrais hidrológicos consistem de variáveis aleatórias. A análise de frequência pressupõe condições de aleatoriedade, bem como de independência, homogeneidade, estacionariedade e

representatividade. Esses pressupostos acerca da população da qual são extraídos os dados amostrais podem ser verificados e rejeitados ou não, através da aplicação de testes de hipóteses. Os testes de hipóteses não paramétricos, técnica de inferência estatística, têm maior aplicação na hidrologia estatística do que os paramétricos, pois não partem da premissa de que os dados são extraídos de um modelo de distribuição probabilística conhecido (NAGHETTINI; PINTO, 2007). As estatísticas não paramétricas não estão condicionadas à distribuição normal dos dados e utilizam características deduzidas da amostra, como por exemplo, o número de diferenças positivas (ou negativas) entre certa mediana hipotética e os valores amostrais ou o número de inflexões dos valores amostrais ao longo de uma série temporal (NAGHETTINI; PINTO, 2007), dentre outras.

No caso de variáveis hidrológicas, devido a características como modelo distributivo não conhecido previamente e reduzido tamanho das amostras, somente os testes não paramétricos podem ser realizados. Assim, as séries de dados hidrológicos são submetidas a procedimentos não paramétricos para avaliação das hipóteses de aleatoriedade, independência, homogeneidade e estacionariedade. A utilização dos dados na análise de frequência e ajuste de distribuição requer que essas hipóteses não sejam rejeitadas. O não atendimento a tais requisitos impõe uma investigação detalhada das causas e/ou avaliação das consequências de utilização da série de dados. Utilizar a série sem os devidos cuidados pode levar a resultados com níveis de significância estatística abaixo do desejado ou resultados influenciados por ações antrópicas, como regularização de vazões, urbanização da área da bacia, modificação na calha do rio e mudanças climáticas.

2.1.1 Amostra representativa

A representatividade dos dados está relacionada à sua capacidade de representar as características de um determinado fenômeno. Na análise de frequência "a confiabilidade dos parâmetros calculados com base na série histórica depende do número de valores da série, das incertezas e da sua representatividade" (TUCCI, 2004). Não somente o tamanho da amostra, mas o período que ela abrange deve conter sequências chuvosas e secas, de acordo com a variabilidade local.

2.1.2 Teste de aleatoriedade

As variáveis hidrológicas possuem flutuações em seus valores, que caracterizam sua aleatoriedade, ligada a fenômenos naturais. "Os fenômenos hidrológicos apresentam uma

aleatoriedade intrínseca devida à complexa interação e dependência entre inúmeros fatores influentes nas diversas fases do ciclo hidrológico” (NAGHETTINI; PINTO, 2007). A presença de intervenções, principalmente as antrópicas, como reservatório de regularização, podem afetar as vazões de uma determinada localidade e torná-la uma variável não aleatória, ou seja, regida por um determinado plano de operação do reservatório. A aleatoriedade nas séries indica que as variações são devidas a causas naturais e não antrópicas.

Dentre os testes de hipótese não paramétricos para testar a aleatoriedade dos dados destacam-se: *Turning Points Kendall's test* (“pontos de inflexão”), *Median Crossing* (“cruzamento da mediana”), e *Rank Difference* (“classificação de diferenças”). Sendo o *Turning Points Kendall's test* o mais usual nas aplicações da hidrologia (NAGHETTINI; PINTO, 2007). A hipótese nula para os testes de aleatoriedade é H_0 : os dados são provenientes de um processo aleatório, a um nível de significância α . Os testes utilizados para análise da aleatoriedade são descritos no Anexo II.

2.1.3 Teste de independência

Eventos são considerados estatisticamente independentes se a probabilidade de ocorrência de um determinado evento A não é afetada pela ocorrência de um evento B e vice-versa. Assim, as vazões máximas anuais devem ser obtidas para o ano hidrológico, que corresponde ao período de 12 (doze) meses a partir do início da estação chuvosa até o fim da estação seca. Séries de vazões médias (máximas ou mínimas) anuais apresentam fraca ou nenhuma dependência devido ao intervalo de separação das observações (NAGHETTINI; PINTO, 2007; TUCCI, 2004). Para vazões médias diárias essa dependência se torna mais forte (NAGHETTINI; PINTO, 2007; TUCCI, 2004).

Quanto à dependência, o teste de hipótese não paramétrico proposto por Wald e Wolfowitz (ver Anexo II) pode ser utilizado para avaliar as amostras. Em alguns estudos este teste é utilizado para análise da independência e da estacionariedade (RAO; HAMED, 2000). O fato de a amostra ter dados considerados dependentes pode afetar o significado de outros métodos e testes utilizados, como no caso dos testes de tendência, causando interpretação incorreta dos resultados (HAMED; RAO, 1998; VILLARINI et al., 2011).

2.1.4 Teste de homogeneidade

A homogeneidade dos dados ocorre quando, ao longo das observações, os fatores de formação da variável não apresentam alterações. Essa condição assegura que a amostra seja

proveniente de uma única população. Modificações no uso e ocupação da bacia hidrográfica, relocação da estação de observação, implantação de estruturas hidráulicas, como barragens, são exemplos de mudanças físicas que podem afetar a homogeneidade das séries.

Em relação à homogeneidade, Conte (2012) afirma que apenas $n/10$ (cheias com período de retorno igual ou superior a 10 anos) de um conjunto com um número n de dados das vazões máximas diárias, poderiam constituir uma amostra razoavelmente homogênea, pois somente nestas condições grandes bacias hidrográficas apresentam caráter mais uniforme das contribuições de deflúvio.

Para utilização dos dados na análise de frequência as séries que apresentam heterogeneidade devem ser corrigidas ou subdivididas em séries homogêneas. A verificação da homogeneidade da série em hidrologia é usualmente realizada pelo teste de Mann-Whitney, apresentado no Anexo I. Este teste é utilizado em alguns estudos para análise da homogeneidade e da estacionariedade (RAO; HAMED, 2000).

2.1.5 Teste de estacionariedade

A estacionariedade das séries hidrológicas está relacionada à presença ou não de modificações ao longo do tempo, ou seja, à variação das características estatísticas. Essas alterações podem ser saltos ou ciclos causados por mudanças físicas como urbanização da bacia hidrográfica, construção de obras hidráulicas como canais e barragens ou ainda relacionadas a aspectos climáticos. No caso de mudanças climáticas, a identificação se torna muito mais difícil, principalmente para série curtas (menos de 30 anos). “A não estacionariedade está associada a efeitos de grande escala e não deve ser confundida com épocas sazonais distintas, nas quais regimes hidrológicos diferenciados causam mudanças no comportamento das afluições” (DETZEL et al., 2011).

Avaliar a não estacionariedade possui grande importância e trata-se de um assunto amplamente estudado (CLARKE, 2002; DETZEL et al., 2011; MÜLLER; KRÜGER; KAVISKI, 1998). De 146 séries de afluições às usinas hidrelétricas brasileiras do Sistema Interligado Nacional (SIN) 75 apresentaram não estacionariedade, segundo os seguintes testes de verificação de tendência: *t-Student*, Cox-Stuart, Wilcoxon, Coeficiente de Correlação de Spearman, Mann-Kendall e F-Snedecor (DETZEL et al., 2011).

A não estacionariedade de séries de vazões diárias máximas anuais pode ocorrer por mudanças pontuais, normalmente causadas por modificações antropogênicas como implantação de obras hidráulicas, ou em decorrência de mudanças climáticas. O teste não

paramétrico de Pettitt auxilia na identificação de mudanças repentinas na média e variância e é utilizado na identificação de alterações pontuais (VILLARINI et al., 2011). Os testes de Spearman e de Mann-Kendall permitem analisar se a série apresenta de forma constante comportamento crescente ou decrescente (VILLARINI et al., 2011; YUE; PILON; CAVADIAS, 2002). Esses testes foram utilizados em um estudo na Europa Central onde se identificou que negligenciar a presença de mudanças pontuais nas séries pode causar grande impacto nas análises de tendência monotônica (relativa a alterações climáticas), bem como, no cálculo do tempo de retorno (VILLARINI et al., 2011). Denomina-se monotônica uma variável que aumenta ou diminui sistematicamente de forma linear ou não linear (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Na análise de frequência convencional “dados não estacionários devem ser analisados em subséries homogêneas ou ajustados de modo a corrigir as heterogeneidades encontradas” (CÂNDIDO, 2003). Dentre os testes não paramétricos utilizados na análise da estacionariedade, Pettitt, Coeficiente de Correlação de Spearman e Mann-Kendall, descritos no Anexo I, o teste do Coeficiente de Correlação de Spearman é um dos mais usuais em estudos hidrológicos (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

2.1.6 Pontos amostrais atípicos (*outliers*)

Os valores atípicos, ou *outliers*, em séries de dados foram definidos por Hawkins (1980) como observações que desviam significativamente das demais, para valores acima ou abaixo, apresentando suspeita de que foram geradas por um mecanismo diferente dos demais dados. A identificação da presença do *outlier* pode afetar o resultado de métodos aplicados às séries de dados e à decisão de sua exclusão é de difícil execução.

Uma análise detalhada deve ser realizada com o intuito de identificar as causas de ocorrência destes pontos atípicos que podem ser provenientes de eventos excepcionais, produzidos pela mesma população dos dados ou não, ou relacionadas a erro na coleta/registro dos dados. Os testes usuais para determinação de pontos atípicos na hidrologia são os procedimentos dos quartis amostrais, teste de assimetria e o teste de Grubbs e Beck.

A análise dos quartis amostrais possibilita verificar se o ponto localiza-se fora dos limites dos intervalos a 95% de confiança, em torno da distribuição de probabilidades ajustada. O teste de Grubbs e Beck identifica se existem dados que desviam significativamente da amostra. O teste de assimetria consiste da comparação da assimetria da amostra original e a assimetria da amostra sem um de seus extremos. O teste de assimetria e o

teste de Grubbs e Beck são descritos no Anexo I. Outros testes para detecção de *outliers* são estudados por Kottegoda (1984).

2.2 Método Estatístico - Análise de Frequência Local (AFL)

A análise de frequência no contexto da hidrologia tem como objetivo relacionar a magnitude de eventos hidrológicos com sua frequência de ocorrência. A aplicação da teoria de probabilidades e da estatística matemática é utilizada para ajustar uma distribuição de probabilidade ao conjunto de observações. Através destas distribuições é possível obter a probabilidade com que uma variável aleatória X pode ser igualada ou excedida. Definido um quantil de referência x_T , de modo que o 'sucesso' seja a superação de x_T , então o tempo de retorno T , corresponde ao número médio de anos necessário para que o evento $\{X > x_T\}$ recorra, em um ano qualquer.

Para aplicação da análise estatística, a variável em estudo deve atender as condições de aleatoriedade, independência, homogeneidade, estacionariedade e representatividade. Outros pontos definidos preliminarmente ao estudo devem ser a determinação da abrangência da análise, local ou regional, e da seleção dos máximos da série, anual ou parcial. Em relação à extensão espacial, a análise local utiliza os registros de apenas uma estação do local de interesse. Na análise regional são utilizadas várias estações selecionadas pelas suas semelhanças fisiográficas e/ou climáticas dentro de uma área geográfica. A abrangência regional é utilizada quando se pretende realizar a transferência de informações de um local para outro ou quando as amostras locais apresentam períodos muito curtos e pretende-se obter valores mais confiáveis na estimação de parâmetros e quantis de distribuições de probabilidades. Os estudos com séries anuais considera apenas um valor máximo (ou mínimo) da variável por ano hidrológico, que corresponde ao período de 12 (doze) meses a partir do início da estação chuvosa até o fim da estação seca. Na avaliação de durações parciais são selecionados registros de magnitudes superiores (ou inferiores) a um determinado limite de referência, sem restrição do período de ocorrência.

Os procedimentos para AFL de séries de vazões máximas anuais são: avaliação dos dados quanto à aleatoriedade, homogeneidade, independência, estacionariedade e representatividade; proposta de distribuições teóricas de probabilidade, com a estimativa de seus parâmetros, quantis e intervalos de confiança; verificação de aderência da distribuição empírica; identificação e tratamento de eventuais pontos atípicos, e caso encontrados, a nova série deverá passar novamente pelas etapas precedentes; e finalmente, a seleção da

distribuição de probabilidade mais apropriada (NAGHETTINI; PINTO, 2007). A definição da posição de plotagem, da distribuição de probabilidade, do método de estimação de parâmetros e os testes de aderência (ajuste à curva teórica) fazem parte das etapas da AFL de séries de vazões máximas anuais.

As variáveis hidrológicas na maioria dos casos não possuem distribuição de probabilidade pré-estabelecida. A seleção das distribuições de probabilidades aptas à modelação de uma determinada variável hidrológica é realizada com base (i) nas características físicas do fenômeno em foco; (ii) em possíveis deduções teóricas quanto às propriedades da variável em questão; e (iii) na aderência da distribuição proposta à distribuição empírica dos valores amostrais.

Os testes de aderência mais empregados na hidrologia estatística são os testes do Qui-Quadrado, o de Kolmogorov-Smirnov, o de Anderson-Darling, e o de Filliben (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Também é utilizada a comparação de quocientes de momentos-L (CÂNDIDO, 2003; HOSKING; WALLIS, 1997; LIMA, 2005). Esses testes podem ser utilizados para auxiliar durante o processo de seleção da função de distribuição de probabilidades que mais se adequa para representar a amostra, mas não são suficientes, principalmente no caso de amostras curtas. A escolha da distribuição que melhor represente a população da qual os dados foram extraídos constitui uma das dificuldades no estudo da hidrologia.

2.2.1 Posição de Plotagem

A série de dados, para o estudo de vazões máximas anuais, formada pelo maior valor diário registrado em cada ano hidrológico, deverá ser ordenada de forma decrescente. A probabilidade empírica $P(X_i) = F$ com que, o valor X_i , entre n valores ordenados de modo decrescente, ser igualado ou superado é definida pela sua posição de plotagem, dada por formulações empíricas (ver Quadro 2.2). A posição de plotagem é usada com a finalidade de comparar duas ou mais distribuições de dados, para comparar o ajuste dos dados a uma distribuição de probabilidade, e para calcular as probabilidades de excedência.

A fórmula mais geral para a posição de plotagem é dada por:

$$F = \frac{i - a}{n + 1 - 2 \cdot a} \quad \text{Equação 2.1}$$

sendo a uma constante; n o número de elementos da série; i a ordem do elemento da série ordenada de forma crescente (CUNNANE, 1978). Por exemplo, para $a = 0$, obtém-se a

fórmula de Weibull. Outras fórmulas para determinação da posição de plotagem são apresentadas na literatura (CUNNANE, 1978; RAO; HAMED, 2000). A posição de plotagem recomendada (STEDINGER, 1993) para algumas das distribuições de probabilidade são: Blom para as distribuições Normal, Lognormal 2 parâmetros, Pearson III, Log Pearson III; Gringorten para as distribuições de Gumbel, Exponencial; Cunnane para distribuição generalizada de valores extremos (GEV); e Weibull para distribuição generalizada de Pareto (GPA).

Quadro 2.2 - Fórmulas para o cálculo da posição de plotagem F (adaptada de Cunnane (1978); Stedinger (1993); Rao; Hamed (2000)).

Posição de Plotagem	a	Fórmula		Motivação
		$F = 1 - 1/T$	T	
Adamowski ²	0,260	$\frac{i - 0,26}{n + 0,5}$	$\frac{n + 0,5}{m - 0,24}$	Quantis não-enviesados para a distribuição Normal.
Blom ³ (1958)	0,375	$\frac{i - 0,375}{n + 0,25}$	$\frac{n + 0,25}{m - 0,375}$	
California	1,000	$\frac{i - 1}{n}$	$\frac{n}{m}$	
Chegodayev (1900)	0,300	$\frac{i - 0,3}{n + 0,4}$	$\frac{n + 0,4}{m - 0,3}$	Quantis aproximadamente não-enviesados para quase todas as distribuições
Cunnane (1978)	0,400	$\frac{i - 0,4}{n + 0,2}$	$\frac{n + 0,2}{m - 0,4}$	
Gringorten (1963)	0,440	$\frac{i - 0,44}{n + 0,12}$	$\frac{n + 0,12}{m - 0,44}$	
Hazen ⁴ (1914)	0,500	$\frac{i - 0,5}{n}$	$\frac{n}{m - 0,5}$	Uma escolha tradicional
Hosking (1990)	0,350	$\frac{i - 0,35}{n}$		Usada como momento de peso probabilístico
Weibull ⁵ (1939)	0	$\frac{i}{n + 1}$	$\frac{n + 1}{m}$	Probabilidades de superação não-enviesadas para todas as distribuições

a é uma constante; F é a probabilidade acumulada de não excedência; T é o tempo de retorno (em anos); i é a posição na amostra em ordem crescente = $n - m + 1$; m é a posição na amostra em ordem decrescente = $n - i + 1$; n é número de observações.

2.2.2 Distribuições estatísticas

As funções de distribuições estatísticas permitem relacionar os dados hidrológicos com suas frequências de ocorrência. Bobée et al. (1993) apresenta as distribuições mais utilizadas na análise de frequência (ver Quadro 2.3) e propõe uma abordagem sistemática para comparar as distribuições.

² Adamowski, K. (1981). "Plotting Formula for Flood Frequency", Water Research Bulletin, Vol. 17, N^o. 2, pp. 197-202.

³ Blom, G., 1958, Statistical Estimates and Transformed Beta Variables: John Wiley, New York, 68-75, 143-146.

⁴ Hazen, A., 1914. Storage to be provided in impounding reservoirs for municipal water supply. Trans. Am. Soc. Cir. Eng., Pap. 1308, 77: 1547-1550.

⁵ Weibull, W., 1939, The Phenomenon of Rupture in Solids: Ingeniors Vetenskaps Akademien Handlinga 153, Stockholm, p. 17.

Quadro 2.3 - Distribuições utilizadas em análise de frequência de cheias (BOBÉE et al., 1993).

Distribuição	Comentário	Referência
Normal (N)		Horton ⁶ (1913)
Log Normal 2 parâmetros (LN2)		Hazen ⁷ (1914)
Pearson tipo 1 e 3 (PIII)	Curvas estabelecidas em convenientes formas para análise de frequência de cheias	Foster ⁸ (1924)
Gumbel (EV1)		Gumbel (1941)
Halphen-system	Família de 3 parâmetros com estatística suficiente	Halphen ⁹ (1941)
Log-normal 3 parâmetros (LN3)	A distribuição de valores extremos tipo I (EVI) é virtualmente uma caso especial da LN3	Morlat (1956)
Generalizada de valores extremos (GEV)		Chow ¹⁰ (1954)
Log-Pearson tipo 3 (LPIII)	Recomendada por USWRC ¹¹ (1967)	Beard (1962) Benson (1968)
Gamma generalizada (GAM)	Conhecida pelos hidrólogistas como distribuição Krirsky-Menkel	Kritsky e Menkel (1969)
Wakeby (WK5)	5 parâmetros	Houghton (1978)
Dois componentes de valores extremos	4 parâmetros	Rossi, Fiorentino e Versace (1984)

Quadro 2.4 - Funções de distribuição de probabilidade.

Distribuição	Parâmetros	Função Densidade de Probabilidade	Função de Distribuição Acumulada
Normal (N)	μ e σ	$f(x) = \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] / (\sigma\sqrt{2\pi})$	$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx = P(X \leq x)$
Log-Normal 2 parâmetros (LN2)	com $y = \ln(x)$, $x > 0$ μ_y e σ_y	$f(y) = \exp\left[-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right] / (x \cdot \sigma_y \sqrt{2\pi})$	$F(y) = \int_{-\infty}^y f(y)dy = P(Y \leq y)$
Gama (GAM)	$\alpha = \frac{\mu}{\sigma^2}$ e $\lambda = \frac{\mu^2}{\sigma^2}$	$f(x) = \alpha e^{-\alpha \cdot x} (\alpha \cdot x)^{\lambda-1} / \Gamma(\lambda)$	Integral
Pearson tipo III (PIII)	$\beta = (2/\gamma)^2$ (γ = assimetria) $\lambda = \sigma / \text{raiz}(\beta)$ $\varepsilon = \mu - \lambda \cdot \beta$	$f(x) = \frac{\lambda^\beta \cdot (x - \varepsilon)^{\beta-1} \cdot e^{-\lambda(x-\varepsilon)}}{\Gamma(\beta)}$	Integral ($x \geq \varepsilon$)
Log-Pearson tipo III (LPIII)	com $y = \ln(x)$: $\beta = (2/\gamma)^2$ (γ = assimetria) $\alpha = \sigma_y / \text{raiz}(\beta)$ $\gamma = \mu_y - \alpha \cdot \beta$	$f(x) = \frac{\left(\frac{\ln(x)-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{\ln(x)-\gamma}{\alpha}\right)}}{\alpha \cdot x \cdot \Gamma(\beta)}$	Integral ($\ln(x) \geq \gamma$)
Valores Extremos tipo - I (EV1)	$\alpha = 1,2825/\sigma$ e $\beta = \mu - 0,45\sigma$	$y = -\alpha \cdot (x - \beta)$ $f(x) = \alpha \cdot \exp[y - e^y]$	$y = -\alpha \cdot (x - \beta)$ $F(x) = \exp[-\exp(y)]$
Weibul (W)	α e β (solver): $\mu = \beta \cdot \Gamma(1 + 1/\alpha)$ $\sigma^2 = \beta^2 [\Gamma(1 + 2/\alpha) - \Gamma^2(1 + 1/\alpha)]$	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}$	$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}$
Generalizada de Valores Extremos (GEV)	α, β e κ	$f_y(y) = \frac{1}{\alpha} \left[1 - \kappa \left(\frac{y-\beta}{\alpha}\right)\right]^{1/\kappa-1} F_y(y)$	$F_y(y) = \exp\left\{-\left[1 - \kappa \left(\frac{y-\beta}{\alpha}\right)\right]^{1/\kappa}\right\}$

⁶ Horton, R.E., 1913. Frequency of recurrence of Hudson River floods. U.S. Weather Bur. Bull., 2:109-112.⁷ Hazen, A., 1914. Storage to be provided in impounding reservoirs for municipal water supply. Trans. ASCE, Pap. 1308, 77: 1547-1550.⁸ Foster, H.A., 1924. Theoretical Frequency Curves and their Application to Engineering Problems. American Society of Civil Engineers, New York, Vol. 87, pp. 142-173.⁹ Halphen, E., 1941. Sur un nouveau type de courbe de fréquence. C.R. Acad. Sci., 213: 634-635.¹⁰ Chow, V.T., 1964. Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill, New York.¹¹ U.S. Water Resources Council (WRC). 1967. A uniform technique for determining flood flow frequencies. Bull. 15. US WRC, Washington, DC, 13 pp.

As distribuições mais usuais em hidrologia são a log-normal 2 parâmetros, log-normal 3 parâmetros, Gama, Pearson tipo III, log-Pearson tipo III, Gumbel ou valores extremos tipo – I, Weibull, logística, generalizada de valores extremos, Wakeby 4 parâmetros, Wakeby 5 parâmetros, Pareto generalizada, logística generalizada e Two Component Extreme Value (TCEV). As funções de distribuição de probabilidade para algumas das distribuições são apresentadas no Quadro 2.4.

A literatura oferece vasta apresentação das distribuições de probabilidade, métodos de estimação de parâmetros e testes de aderência, dentre as referências destacam-se os seguintes documentos: NAGHETTINI e PINTO (2007), RAO; HAMED (2000) e USDA (2012).

2.2.3 Métodos de estimação dos parâmetros e testes de aderência

A estimação dos parâmetros das distribuições é usada para produzir as estimativas de parâmetros populacionais a partir de uma amostra. A estimação pontual é mais frequentemente usada em hidrologia. Após a escolha da distribuição de probabilidade a ser ajustada aos dados amostrais, são utilizados os métodos de estimação de parâmetros para obtenção de seus parâmetros. Dentre estes métodos destacam-se o dos momentos (MM), da máxima verossimilhança (MV), dos momentos-L (MML), dos momentos ponderados por probabilidade (MP), da máxima entropia, dos mínimos quadrados (MQ), generalizado dos momentos, e o dos momentos mistos (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Os conceitos para os momentos *biased* e *unbiased* apresentados no USDA (2012): um parâmetro é não enviesado ou não tendencioso (*unbiased*) se a média das estimativas feita a partir de amostras do mesmo tamanho converge para o valor da média da população. Um parâmetro é enviesado ou tendencioso (*biased*), se a estimativa média não converge para o valor médio da população. Dentre os testes de aderência para a verificação do ajuste da distribuição à série de dados destacam-se o Qui-Quadrado, Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, Filiben e o de Momentos e Momentos-L amostrais versus teóricos.

2.3 Método de Análise de Frequência Conjugada (AFC)

A AFC consiste de um novo conceito que combina o método determinístico e o estatístico (GARCIA; BRAGA JR, 1997; GARCIA, 1996a). O método determinístico define o limite superior para a variável hidrológica, levando em consideração as características fisiográficas, hidrometeorológicas e hidrogeográficas da bacia hidrográfica. O método

estatístico permite inferir valores para as variáveis hidrológicas para diferentes probabilidades.

A AFC considera o fato de que a curva de distribuição estatística deve ter um limite superior e forma assintótica, se tornando mais condizente com a realidade física do processo hidrológico. As características que devem constituir o modelo de previsão e que a AFC visa a atender são (GARCIA, 1996a): a probabilidade da PMP ou CMP não ser superada é considerada igual a 1,0; os valores de projeto com probabilidade de não excedência superior a do valor máximo da série e inferior à da PMP ou CMP sejam inferidos por interpolação em vez de extrapolação, resultando sempre em valores compreendidos dentro de um intervalo de magnitude factível; os valores da PMP e da CMP estejam sempre incluídos como limite superior da distribuição cujos parâmetros serão obtidos por métodos de estimativas, aplicados diretamente aos dados da série histórica; e a distribuição probabilística ajustada não esteja sujeita a variações significativas em função da inclusão de eventos extraordinários (*outliers*) ou da extensão da série de dados.

A distribuição probabilística dos valores extremos do tipo III foi utilizada por Garcia (1996a), pois é assintótica a um valor máximo definido e flexível, permitindo o ajuste para diferentes séries de valores máximos (GARCIA, 1996a). A forma mais geral da distribuição probabilística dos Valores Extremos é representada através da função de distribuição de frequência acumulada $F(x)$, apresentada na Equação 2.1:

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 - \frac{\beta \cdot (x - u)}{\alpha} \right]^{1/\beta} \right\} \quad \text{Equação 2.1}$$

sendo x um valor máximo qualquer; α o parâmetro de escala, tendo-se sempre $\alpha > 0$; β o parâmetro de forma; u o parâmetro de localização. A distribuição EV3 tem $k > 0$ e é definida por 3 parâmetros com um limite superior, dado por $-\infty < x \leq u + \frac{\alpha}{\beta}$. Para aplicação desta distribuição ao método da AFC foram realizadas as seguintes considerações: a variável x foi renomeada como V , nome genérico para os valores máximos de precipitações e/ou vazões, e VMP é o valor máximo provável, nome genérico para a PMP e a CMP (GARCIA, 1996a).

Introduzindo nesta distribuição o conceito do VMP, tem-se que $-\infty < V \leq VMP$, logo:

$$VMP = u + \frac{\alpha}{\beta} \rightarrow \alpha = (VMP - u) \cdot \beta \quad \text{Equação 2.2}$$

Sendo VMP um limite superior, seu valor não poderá ser superado e $F(VMP)=1,0$, ou seja, a probabilidade de não ser superado é igual a 1. Substituindo-se a Equação 2.2 na Equação 2.1 e com $x = V$, tem-se:

$$F(V) = \exp \left\{ - \left[1 - \frac{V - u}{(VMP - u)} \right]^{1/\beta} \right\} = \exp \left\{ - \left(\frac{VMP - V}{VMP - u} \right)^{\beta^*} \right\} \quad \text{Equação 2.3}$$

com $V \leq VMP$ e $\beta^* > 0$. Sendo $F(V)$: probabilidade de não excedência de V dada por $F = 1 - 1/T$; V : valor de um dado evento (vazão ou precipitação), tal que $VMP \geq V > 0$; T : tempo de retorno; VMP : valor máximo provável, nome genérico para a PMP e CMP; u e β^* : parâmetros. O parâmetro β^* será renomeado de β de agora em diante para facilitar a apresentação. O limite superior (VMP) é determinado utilizando o método determinístico e os dois parâmetros u e β são obtidos através dos métodos de estimação. Isolando o valor de V na Equação 2.3 tem-se:

$$V = VMP - (VMP - u) \cdot (-\ln F)^{1/\beta} \quad \text{Equação 2.4}$$

O método de AFC apresenta melhores resultados em relação ao método estatístico quanto à influência da extensão da série, da presença de *outlier* e dos menores valores da série de dados (GARCIA; BRAGA JR, 1997; GARCIA, 1996a). Souza (2006) entendeu a AFC como um método estatístico que se utiliza da informação determinística para melhorar suas estimativas e recomenda a análise da confiabilidade através da geração de séries com diferentes tamanhos (1000, 5000, 10000 anos) e aplicação dos métodos confrontando os resultados com os valores estimados utilizando a série real.

2.3.1 Método Determinístico - Obtenção da PMP e CMP

O método determinístico utiliza informações hidrometeorológicas da bacia para definição de valores hidrológicos máximos das variáveis precipitação e vazão de projeto. Segundo essa metodologia, é determinada a chamada precipitação máxima provável (PMP) e a cheia máxima provável (CMP). A PMP é “a maior altura de precipitação para uma dada duração meteorologicamente possível, para uma determinada bacia, numa certa época do ano, sem consideração de mudanças climáticas” (WMO, 1986). A CMP é obtida através da utilização de modelos de transformação chuva-vazão que utilizam os máximos teóricos de altura de chuva para calcular os hidrogramas correspondentes (ELETROBRÁS, 1987). A CMP consiste na cheia provocada pelo evento máximo de chuva, PMP, sobre a área da bacia hidrográfica em condições de umidade do solo próximo à saturação.

A PMP é calculada a partir das seguintes etapas (ELETROBRÁS, 1987): identificação das piores tempestades ocorridas na região; escolha de um modelo de transformação chuva-vazão; preparo de sequências tentativas de precipitações históricas na bacia e/ou transposições que sejam críticas do ponto de vista da vazão de projeto (maximização temporal e espacial); e aplicação de fatores de maximização da umidade às sequências de precipitação. Para o cálculo dos fatores de maximização da umidade deverão ser selecionadas as maiores chuvas intensas observadas na região, e obtida a umidade representativa e máxima provável de cada evento selecionado.

A CMP deve ser estabelecida de acordo com as condições de contorno pré-estabelecidas, tais como, localização do núcleo chuvoso, condições de umidade de solo no início da simulação, sincronização de chuvas de setores independentes, e distribuição temporal da chuva (SOUZA, 2006). As críticas relacionadas a este método se referem principalmente ao fato de não poderem ser associadas probabilidades aos valores obtidos, impossibilitando a análise de risco do evento de projeto (COELHO FILHO, 2010; GARCIA; BRAGA JR, 1997; GARCIA, 1996a) e da insegurança na determinação das variáveis no cálculo da PMP e CMP, e suas distribuições espaço-temporal.

2.4 Hidrograma Máximo Mais Provável (HMMP)

O método do Hidrograma Máximo Mais Provável (HMMP) proposto por Conte (2012) para determinação de vazões máximas é baseado nos conceitos do Hidrograma Unitário Curvilíneo (HUC) ou Hidrograma de Mockus, que utiliza uma chuva crítica equivalente à distribuição temporal das chuvas segundo Huff - 1º Quartil, com probabilidade de ocorrência de 50%. O HUC considera que existe uma relação fundamental entre o pico e o valor médio do hidrograma HUC, dada por $Q_M = 0,267 \cdot Q_P$ ou $Q_P = 3,7453 \cdot Q_M$ sendo Q_M : vazão média; Q_P : vazão de pico e a relação $k = \text{pico}/\text{média} = (Q_P - Q_B)/(Q_{TB} - Q_B) = 3,7453$, sendo Q_B a vazão de base.

No método HMMP para bacias hidrográficas de grande porte, consideradas as bacias com área de drenagem maior do que 100 km², o valor da chuva média na bacia que teria gerado esse hidrograma possui pouca importância e não é de fácil definição (CONTE, 2012). Os picos diários de projeto são determinados considerando o ajuste da equação $Q_M = Q_B + G_0 \cdot \ln(T)$ sendo Q_M a vazão média e o respectivo tempo de retorno (T), e o Q_B e G_0 são parâmetros de ajuste. Considerando o conceito dos HUC de Mockus a vazão de pico (Q_P) é dada por $Q_P = Q_B + k \cdot G_0 \cdot \ln(T)$. Os conceitos associados aos métodos HMMP serão

apresentados nos tópicos seguintes visando explicar as bases teóricas e deduções matemáticas.

2.4.1 Conceito de entropia associados aos volumes excedentes das chuvas

A entropia é uma medida da informação ou do grau de incerteza que se tem sobre um determinado sistema. A entropia (S) diminui à medida que a informação sobre um sistema aumenta e é determinada por:

$$S = - \sum_{i=1}^N p_i \cdot \ln(p_i) \quad \text{Equação 2.5}$$

sendo p_i a probabilidade de ocorrência de um evento i , e com $p_1 + p_2 + \dots + p_N = 1$. Quando $p_1 = p_2 = \dots = p_N = 1/N$ temos o princípio da máxima entropia, ou da máxima incerteza, com máximo grau de entropia dado por:

$$S = - \ln\left(\frac{1}{N}\right) \cdot \sum_{i=1}^N \frac{1}{N} = - \ln\left(\frac{1}{N}\right) \cdot 1 = - \ln(1) + \ln(N) \quad \text{Equação 2.6}$$

$$S = \ln(N) \quad \text{Equação 2.7}$$

Segundo Conte (2012) os volumes excedentes das chuvas poderiam representar a medida de entropia de uma bacia hidrográfica que pelo princípio da máxima incerteza estariam estatisticamente relacionados com o período de retorno (T):

$$S = \frac{Vol.}{\omega} = \ln(1/N) = \ln(T) \quad \text{Equação 2.8}$$

sendo $Vol.$ o volume escoado durante um tempo de base TB e ω uma constante a ser determinada. Para explicar o fato de os volumes serem utilizados para representar uma medida de entropia é realizada uma análise da analogia entre um sistema térmico e um sistema hidráulico (CONTE, 2012).

O volume escoado ($Vol.$) é dado por:

$$Vol. = (Q_{OM} - Q_B) \cdot t_0 \quad \text{Equação 2.9}$$

sendo Q_{OM} a vazão média do hidrograma com tempo de base $TB = t_0$ (Figura 2.1); Q_B a vazão de base do hidrograma; e, t_0 a duração da base de análise considerada.

Figura 2.1 - Hidrograma com tempo de base t_0 .

E igualando-se a Equação 2.8 à Equação 2.9 tem-se:

$$Vol. = \omega \cdot \ln(T) = (Q_{OM} - Q_B) \cdot t_0 \quad \text{Equação 2.10}$$

$$Q_{OM} - Q_B = \frac{\omega}{t_0} \cdot \ln(T) \quad \text{Equação 2.11}$$

considerando $G_0 = \omega/t_0$, constante a ser determinada e a variável reduzida $y = \ln(T)$, pode-se dizer que:

$$Q_{OM} = Q_B + G_0 \cdot y \quad \text{Equação 2.12}$$

A Equação 2.12 assemelha-se a equação de ajuste da função distribuição exponencial simples (d.e.s.) e a equação da regressão linear simples (r.l.s.).

2.4.2 Metodologia para grandes bacias

A determinação do HMMP para bacias de grande porte consiste do seguinte procedimento (CONTE, 2012):

Passo 1: Selecionar os dados médios diários de descargas do local que melhor represente as condições hidrogeológicas da bacia, no caso das vazões serem obtidas através de curva chave, realizar a verificação da capacidade de extrapolação;

Passo 2: Selecionar as descargas diárias máximas anuais;

Passo 3: Determinar o tempo de base (T_B) do hidrograma crítico na bacia hidrográfica. Verificar se a bacia hidrográfica já apresentou, ao menos, um evento significativo. Entende-se por evento significativo quando o hidrograma observado apresentar, ao mesmo tempo, valores expressivos de picos e volumes. Em caso afirmativo, esse evento já pode dar uma pista do tempo de base a ser adotado para o hidrograma de projeto. Em caso negativo, se a bacia não tiver apresentado qualquer evento significativo, verificar por quantos dias consecutivos (7, 10, 15, 30 dias, etc.) a bacia tem potencial para manter suas médias mais elevadas durante os períodos chuvosos. Se houver insegurança no valor, escolher mais de um;

Passo 4: Selecionar os máximos valores de vazões máximas médias anuais com duração T_B ;

Passo 5: Tanto para as médias diárias como para as médias de duração T_B ordenar as séries de máximas anuais e obter os ajustes logarítmicos (regressão linear simples) aos pares (Q_M, y) , sendo $y = \ln T$, Q_M a vazão média e o respectivo tempo de retorno (T), e obtendo a equação de ajuste $Q_M = Q_B + G_0 \cdot \ln(T)$, onde Q_B e G_0 são parâmetros de ajuste. O valor de T é definido pela fórmula Califórnia (Quadro 2.2);

Passo 6: Para períodos de retorno entre 1 e 10.000 anos determinar os picos diários de projeto considerando o modelo do HUC ($Q_P = Q_B + k \cdot G_0 \cdot \ln(T)$) sendo $k = \text{pico}/\text{média} = (Q_P - Q_B)/(Q_{TB} - Q_B) = 3,7453$, e aplicar o coeficiente de Fuller para determinação das vazões instantâneas de projeto ($Q_i = Q_p \cdot K_{Fuller}$, sendo $K_{Fuller} = 1 + 2,66 \cdot A^{-0,3}$, onde A : área de drenagem, em km^2).

Passo 7: Para períodos de retorno entre 1 e 10 anos, ajustar as distribuições estatísticas usuais e comparar com os valores obtidos pelo HMMP. Adotar os maiores valores.

O HMMP apresenta elementos e subsídios para o estabelecimento de um modelo mais efetivo para previsão de vazões máximas e hidrogramas de cheias (CONTE, 2012). A utilização da relação $k = 3,7453$ como sendo a relação máxima provável é considerada suficiente para proporcionar segurança no dimensionamento hidráulico (CONTE, 2012).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Na determinação das vazões máximas de projeto os métodos a serem analisados neste estudo consistem a Análise de Frequência Local (AFL), a Análise de Frequência Conjugada (AFC) e o Hidrograma Máximo Mais Provável (HMMP). Os quais serão aplicados e seus resultados comparados, com o intuito de uma análise crítica. O estudo englobará os seguintes procedimentos:

- Aquisição dos dados: levantamento das séries de vazões a serem utilizadas, com a busca de séries que possuem valores da Cheia Máxima Provável (CMP) definida, para possibilitar o uso do método AFC, e séries com maior período de dados;
- Tratamento dos dados: análise das séries selecionadas, quanto a representatividade, aleatoriedade, independência, homogeneidade, estacionariedade e quanto à presença de pontos atípicos (*outliers*), através da utilização de testes estatísticos não paramétricos;
- Aplicação dos métodos: AFL, AFC e HMMP, serão apresentadas as etapas e metodologias escolhidas.
- Avaliação e comparação: descrição dos critérios de análise e comparação dos métodos em estudo.

Este capítulo apresenta os métodos e procedimentos utilizados, sendo as aplicações apresentadas na forma de estudos de caso no Capítulo 4 e a análise crítica no Capítulo 5.

3.1 Aquisição dos dados

Os dados hidrológicos utilizados foram obtidos através de levantamento das séries de vazões disponibilizadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2012), e em consulta a estudos de viabilidade de aproveitamentos hidrelétricos. As séries de vazões da ONS consistem de dados naturalizados, ou seja, “todos os efeitos oriundos da instalação e operação dos reservatórios, bem como ações antrópicas em geral nos cursos d’água, são retirados” (DETZEL et al., 2011), além de serem consistidos em escala diária.

As séries de vazões provenientes da ONS foram selecionadas inicialmente a partir dos critérios de tamanho amostral, sendo selecionadas as séries com maiores extensões. Em seguida, foram selecionados apenas os aproveitamentos hidrelétricos que possuem estudos de CMP pelo método determinístico, para a aplicação do método AFC. As CMP são apresentadas no livro Grandes Vertedouros Brasileiros (CBDB, 2010). As UHEs Sobradinho e Caconde foram escolhidas no intuito de realizar uma comparação com o estudo "Avaliação das metodologias para determinação de valores máximos de variáveis hidrológicas: aplicação do método conjugado" realizado por Souza (2006), que avalia a eficiência do método AFC através de uma análise comparativa com os métodos estatístico e determinístico.

Na aplicação dos métodos estatístico, AFC e HMMP serão utilizadas as séries de vazões da ONS relativas aos aproveitamentos hidrelétricos de Caconde, Funil, Furnas, Ilha Solteira, Itaipu, Jupiá, Mascarenhas de Moraes, Paraibuna/Paraitinga, Porto Primavera, Sobradinho e Três Marias (ver Tabela 3.1). As séries de vazões diárias máximas anuais para os aproveitamentos hidrelétricos são apresentadas no Anexo IV (Tabela 9.4 a Tabela 9.7). Foram analisados dados diários de vazão expressos em metros cúbicos por segundo (m^3/s), para a UHE de Caconde (Bacia do Rio Pardo), abrangendo o período de 1937 a 2010, que corresponde a 73 anos de dados, e para as demais localidades compreendendo o período de 1931 a 2010 (79 anos).

Tabela 3.1 - Características principais das estimativas das cheias de projeto CMP nos aproveitamentos em estudo (Fonte: CBDB (2010), SOUZA (2006)).

Local	Rio - Bacia	Área de Drenagem (km^2)	CMP (m^3/s)
Caconde*	Pardo	2.566	3.082**
Funil (MG)	Grande	15.153	7.750
Furnas	Grande	50.464	18.802
Ilha Solteira	Paraná	375.460	55.230
Itaipú	Paraná	820.000	72.020
Jupiá	Paraná	470.000	60.790
Mascarenhas de Moraes (Peixoto)	Grande	59.600	16.107
Paraibuna/Paraitinga	Paraibuna	4.150	5.400
Porto Primavera	Paraná	575.000	62.040
Sobradinho	São Francisco	498.425	36.300**
Três Marias	São Francisco	50.600	9.980

* Período de dados: 1937 - 2010 (73 anos) para Caconde, nas demais localidades o estudo compreendeu o período de 1931 - 2010 (79 anos); ** Fonte: SOUZA (2006).

Na seleção do estudo de viabilidade buscou-se encontrar séries de vazões para aplicação do método HMMP e possibilitar a comparação com os estudos realizados pela AFL para obtenção das cheias decamilenares. Essas informações hidrológicas foram obtidas no

Relatório Final dos Estudos de Inventário Hidroelétrico da Bacia do Rio Uruguai no Trecho Compartilhado entre Argentina e Brasil (CNEC/ESIN/PROA, 2010) e no estudo de Avaliação Ambiental Integrada dos Aproveitamentos Hidrelétricos na Bacia do Rio Uruguai (MMA, 2005). Os métodos HMMP e AFL serão aplicados às séries de vazões das estações fluviométricas de Garruchos, Paso de Los Libres, San Javier PNA e El Soberbio (ver Tabela 3.2). Os métodos estatísticos e HMMP serão aplicados para as séries de vazões diárias máximas anuais (Tabela 9.8 do Anexo IV) nas estações de referência para vazões máximas indicados no Inventário (CNEC/ESIN/PROA, 2010).

Tabela 3.2 - Estações fluviométricas localizadas na Bacia do Rio Uruguai (Fonte: CNEC/ESIN/PROA (2010)).

Nome	Área de Drenagem (km ²)	$Q_{10.000}$ (m ³ /s)	Distribuição estatística
Garruchos	116.790	80.025	Log Pearson III (LPIII)
Paso de Los Libres	191.490	65.257	Log Pearson III (LPIII)
El Soberbio	84.336	86.474	Log Normal (LN)
San Javier	97.405	80.020	Log Pearson III (LPIII)

As séries de vazões diárias máximas anuais, nas estações de referência, provenientes do inventário da Bacia do Rio Uruguai (CNEC/ESIN/PROA, 2010), foram utilizadas como dados para determinação da $Q_{10.000}$ através da aplicação das distribuições de probabilidade Exponencial, Log Normal, Log Pearson III e Gumbel. Na estação Paso de Los Libres a série de dados é completa para o período 1931 a 2007 e a série de registros de níveis d'água de San Javier PNA também é completa neste período (relação utilizada para obter as vazões $Q = 130,97 \cdot h^2 + 1298,70 \cdot h + 327,99$ sendo h os níveis d'água registrados), as séries possuem 77 anos de registros de dados (CNEC/ESIN/PROA, 2010). Na estação Garruchos (1931-2007) as falhas nos dados dos anos 1961 a 1969 foram completadas com uma correlação de vazões de Paso de Los Libres (CNEC/ESIN/PROA, 2010). O registro de alturas diárias em El Soberbio engloba o período 1980 até 2009, mas foi ampliado, sendo adicionado o período de 1941 a 1979, com os registros de alturas diárias na estação Alto Uruguai, estação que se encontra somente 12 quilômetros a montante de El Soberbio (CNEC/ESIN/PROA, 2010).

3.2 Premissas para a aplicação dos métodos - Tratamento dos dados

As séries de vazões hidrológicas foram analisadas quanto aos critérios de representatividade, aleatoriedade, independência, homogeneidade, estacionariedade e quanto à presença de pontos atípicos (*outliers*). Essas características são pressupostos dos dados,

requeridos pelos métodos aplicados. A não avaliação destas características das séries hidrológicas poderia influenciar os resultados. Com isso se pretende conhecer as características estatísticas das séries e realizar as devidas considerações.

A análise da representatividade permite avaliar se a extensão e as características da série representam hidrológicamente o local e são suficientes para as análises seguintes. Um dos problemas da análise de máximos se refere à extensão das séries de dados observados que abrangem, em geral, períodos curtos de registros e muitas vezes apresentam falhas ao longo dos registros, agregando assim maiores incertezas aos valores inferidos pelos métodos. Neste estudo, a análise da representatividade será realizada a partir da caracterização das séries de vazões diárias máximas anuais quanto às estatísticas descritivas (máximo, mínimo, média, desvio padrão, assimetria e percentis) e através da conferência com os registros históricos. A investigação das condições de aleatoriedade, independência, homogeneidade, estacionariedade e quanto à presença de pontos atípicos (*outliers*) visam à melhora da representatividade das séries que serão utilizadas.

A aleatoriedade é examinada através dos testes: *Turning Points Kendall's test* (“pontos de inflexão”), *Median Crossing* (“cruzamento da mediana”), e *Rank Difference* (“classificação de diferenças”). O teste de Wald-Wolfowitz será utilizado para avaliar a independência dos dados. Para verificar a homogeneidade da série, será utilizado o teste de Mann-Whitney. Na verificação da existência de tendência na série, ou seja, da não-estacionariedade, serão aplicados os testes de Pettitt, Spearman's Rho (“Coeficiente de Correlação de Spearman”) e Mann-Kendall. A presença de pontos atípicos (*outliers*) no limite inferior e superior das séries de vazões diárias máximas anuais foi detectada pelo teste de assimetria e pelo teste de Grubbs e Beck. Uma descrição detalhada dos testes é apresentada no Anexo II. No Quadro 3.1 é apresentada uma descrição resumida dos testes utilizados no tratamento dos dados, bem como os softwares utilizados para execução dos testes.

Para aplicação dos testes foram utilizados os softwares TREND, PASW Statistics, KhronoStat e SEAF, indicados no Quadro 3.1. O software TREND® foi projetado para facilitar o teste estatístico de tendência, mudança e aleatoriedade em séries temporais de dados hidrológicos e outros. Possui 12 testes estatísticos baseados na WMO/UNESCO Expert Workshop on Trend/Change Detection e no CRCCH (Cooperative Research Center for Catchment Hydrology) publication Hydrological Recipes. Produto da CRCCH, idealizado e testado por Francis Chiew¹² e Lionel Siriwardena¹² e desenvolvido por Sylvain Arene¹³ e Joel

---

¹² University of Melbourne

¹³ University of Melbourne and Griffith University

Quadro 3.1 - Testes utilizados na análise estatística das séries de dados quanto a representatividade, aleatoriedade, homogeneidade, estacionariedade e presença de outlier.

ANÁLISE	TESTE	DESCRIÇÃO	SOFTWARE
Representatividade	-	Descrever e discutir as características da série de dados.	-
	Turning Points	O teste compara o número de picos e depressões com a quantidade que seria esperada para uma série.	TREND
	Median Crossing	Substitui os n valores da série de tempo por 0 se $x_i < x_{mediana}$ e por 1 se $x_i > x_{mediana}$. O número de vezes que 0 é seguido por 1 ou 1 seguido por 0 é analisado no teste.	TREND
Aleatoriedade	Rank Difference	Organiza os n valores da série de tempo em ordem crescente e classifica-os de 1 até n , sendo denotado por posição i (R_i). A estatística U é calculada por: $U = \sum_{i=2}^n R_i - R_{i-1} $	TREND
	Wald-Wolfowitz	Dada uma amostra $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, de tamanho n , e as diferenças $\{X'_1, X'_2, \dots, X'_n\}$, entre as observações X_i e a média amostral $\bar{X}$, a estatística do teste é dada por: $R = \sum_{i=1}^{n-1} X'_i X'_{i+1} + X'_1 X'_n$	PASW Statistics
Independência			
Homogeneidade	Mann-Whitney	O teste avalia se duas amostras pertencem a uma mesma população através da análise de que as medições de um das amostra é estatisticamente maior do que a outra.	PASW Statistics
	Mann-Kendall	Fixando-se um ano i (de referência), verificam-se quantos elementos posteriores são maiores ou menores ao ano i .	TREND
Estacionariedade	Spearman's Rho	O teste indica que para valores pequenos do somatório dos quadrados das diferenças entre a posição que cada valor ocupa na série e a posição que este mesmo valor ocupa na série ordenada, a série está quase ordenada, portanto, para o nível de significância adotado, os dados apresentam tendência.	TREND
	Pettitt	Uma amostra de tamanho n é separada em duas sub amostras. A estatística do teste é calculada por meio da contagem do número de vezes que a primeira amostra é maior que a segunda.	KhronoStat
	Grubbs e Beck	Neste teste são determinados os limites superior e inferior, acima e abaixo dos quais, os pontos atípicos, eventualmente estão presentes.	SEAF
Outlier	Teste de Assimetria	A análise é realizada com a retirada do extremo amostral (máximo ou mínimo) e caso a retirada deste valor provoque uma alteração na assimetria, maior que um desvio padrão, o valor é identificado como possível <i>outlier</i> .	SEAF

Rahman¹⁴ (CHIEW; SIRIWARDENA, 2005). A versão utilizada do software foi a V1.0.2. obtida através de registro e download na página da web <http://www.toolkit.net.au/Tools/TREND> (acesso em: 04/01/2014), licença não-comercial gratuita (licença número 1.0.2. para CRC Catchment Hydrology).

O PASW Statistics® (antigo SPSS Statistics) fornece um sistema de análise estatística e gerenciamento de dados. PASW é uma marca registrada da SPSS Inc. A versão utilizada foi a PASW Statistics 17.0. (Licença Institucional USP) (SPSS INC., 2007).

O KhronoStat é um software de análise estatística de séries cronológicas. O software permite o estudo da aleatoriedade e estacionariedade. A estacionariedade é detectada pelo uso de quatro testes estatísticos Buishand's test and Bois's ellipse, non parametrical Pettitt's method, Lee and Heghinian's Bayesian method e Hubert's segmentation (IRD-Orstom¹⁵, 1998 *apud* L'HOTE et al., 2002; IRD¹⁶, 2002 *apud* Casimiro, 2010). A versão 1.01 foi utilizada e é disponibilizada gratuitamente em <http://www.hydrosciences.org/spip.php?article239> (acesso em: 04/01/2014).

SEAF (Sistema Especialista para Análise de Frequência), escrito em linguagem Delphi e encontra-se em interface com o FuzzyCLIPS. Programa de auxílio à decisão multicritério para a escolha de uma ou mais distribuições de probabilidades adequadas à modelação de uma amostra de eventos hidrológicos máximos anuais (CÂNDIDO, 2003). Neste trabalho foi utilizada a versão 1.0 de distribuição Livre e “AS IS”, disponível em http://www.ehr.ufmg.br/?page_id=20 (acesso em: 04/01/2014) e serão utilizados apenas os testes de assimetria e o teste de Grubbs e Beck disponíveis no programa.

3.3 Método Estatístico - Análise de Frequência Local (AFL)

A análise estatística compreendeu o ajuste de 15 distribuições de probabilidade, são elas: Normal (N), Log-Normal 2 parâmetros (LN2), Log-Normal 3 parâmetros (LN3), Exponencial (EXP), Gamma (GAM), Pearson tipo III (PIII), log-Pearson tipo III (LPIII), Gumbel ou Valores Extremos tipo – I (VE), Weibul(W), Logística (LOG), Generalizada de Valores Extremos (GEV), Wakeby 4 parâmetros (WK4), Wakeby 5 parâmetros (WK5), Pareto Generalizada (GPAR) e Logística Generalizada (GLOG).

Para a estimação dos parâmetros foram utilizados os métodos dos momentos (MM), da máxima verossimilhança (MV) e dos momentos ponderados por probabilidade (MP). As

¹⁴ CSIRO Land and Water

¹⁵ IRD-Orstom. KhronoStat version 1.0. Logiciel, Orstom, Montpellier, 1998.

¹⁶ Institut de Recherche pour le Développement (IRD). 2002. KHRONOSTAT: Software for statistical analysis of chronological series.

simulações foram realizadas considerando também os momentos enviesado (*biased*) e não enviesado (*unbiased*) de estimação dos parâmetros. Os parâmetros são enviesados se a estimativa média não converge para o valor médio da população e são chamados não enviesados se converge para o valor da população (USDA, 2012).

A aderência das distribuições às séries de dados foi testada pelos métodos do Qui-Quadrado e de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados foram avaliados de acordo com a aderência e os erros padrão médios. Foram avaliados também a adequação dos dados as distribuições através da utilização dos diagramas MRD Convencional (Diagrama assimetria x Curtose, sendo CS elevado ao quadrado), MRD (Diagrama assimetria x Curtose) e L-MRD (Diagrama assimetria-L x Curtose-L) (NAGHETTINI; PINTO, 2007; RAO; HAMED, 2000). O coeficiente de assimetria (CS) e o coeficiente de curtose (CK) são definidos por:

$$CS = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^3}{DP^3} \quad \text{Equação 3.1}$$

$$CK = \frac{N^2}{(N-1)(N-2)(N-3)} \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^4}{DP^4} \quad \text{Equação 3.2}$$

sendo N é o número de valores da série; X_i representa os elementos da série; $\bar{X}$ é a média amostral e DP o desvio padrão. O CS reflete e acentua a contribuição acumulada dos desvios positivos e negativos, em relação à média amostral e o CK é a medida de quão pontiagudo ou achatado é o histograma (ou o polígono de frequências) em torno da média amostral (NAGHETTINI; PINTO, 2007). As atividades utilizadas para aplicação da metodologia estatística para determinação de valores extremos é apresentada na Figura 3.1.

Figura 3.1 - Atividades realizadas para aplicação da AFL (adaptado de BARROS; ZAMBON, 2013).

Para aplicação do método estatístico foi utilizado o programa Flood Frequency Analysis desenvolvido por Rao e Hamed (2003). As aplicações do método AFL foram realizadas com o auxílio do software e das opções disponíveis para simulação, 82 combinações foram analisadas para o método AFL e são apresentadas no Quadro 3.2.

Quadro 3.2 - Combinações entre os métodos de AFL disponíveis no software Flood Frequency Analysis (RAO; HAMED, 2003).

Estimação dos parâmetros	Distribuição		Momentos Biased (B)	Momento Unbiased (UB)
Máxima Verossimilhança (MV)	Generalized Extreme Value	GEV	B-MV-GEV	UB-MV-GEV
	Pearson Type III	PIII	B-MV-PIII	UB-MV-PIII
	Three-parameter Lognormal	LN3	B-MV-LN3	UB-MV-LN3
	Generalized Logistic	GLOG	B-MV-GLOG	UB-MV-GLOG
	Extreme Value Type I (Gumbel)	EV1	B-MV-EV1	UB-MV-EV1
	Generalized Pareto	GPAR	B-MV-GPAR	UB-MV-GPAR
	Weibull	W	B-MV-W	UB-MV-W
	Normal	N	B-MV-N	UB-MV-N
	Exponential	EXP	B-MV-EXP	UB-MV-EXP
	Logistic	LOG	B-MV-LOG	UB-MV-LOG
	Two-Parameter Lognormal	LN2	B-MV-LN2	UB-MV-LN2
	Gamma	GAM	B-MV-GAM	UB-MV-GAM
	Log Pearson Type III	LPIII	B-MV-LPIII	UB-MV-LPIII
	Generalized Extreme Value	GEV	B-MM-GEV	UB-MM-GEV
Método dos Momentos (MM)	Pearson Type III	PIII	B-MM-PIII	UB-MM-PIII
	Three-parameter Lognormal	LN3	B-MM-LN3	UB-MM-LN3
	Generalized Logistic	GLOG	B-MM-GLOG	UB-MM-GLOG
	Extreme Value Type I (Gumbel)	EV1	B-MM-EV1	UB-MM-EV1
	Generalized Pareto	GPAR	B-MM-GPAR	UB-MM-GPAR
	Weibull	W	B-MM-W	UB-MM-W
	Normal	N	B-MM-N	UB-MM-N
	Exponential	EXP	B-MM-EXP	UB-MM-EXP
	Logistic	LOG	B-MM-LOG	UB-MM-LOG
	Two-Parameter Lognormal	LN2	B-MM-LN2	UB-MM-LN2
	Gamma	GAM	B-MM-GAM	UB-MM-GAM
	Log Pearson Type III	LPIII	B-MM-LPIII	UB-MM-LPIII
	Generalized Extreme Value	GEV	B-MP-GEV	UB-MP-GEV
	Pearson Type III	PIII	B-MP-PIII	UB-MP-PIII
Método dos Momentos Ponderados (MP)	Three-parameter Lognormal	LN3	B-MP-LN3	UB-MP-LN3
	Generalized Logistic	GLOG	B-MP-GLOG	UB-MP-GLOG
	Extreme Value Type I (Gumbel)	EV1	B-MP-EV1	UB-MP-EV1
	Generalized Pareto	GPAR	B-MP-GPAR	UB-MP-GPAR
	Weibull	W	B-MP-W	UB-MP-W
	Normal	N	B-MP-N	UB-MP-N
	Exponential	EXP	B-MP-EXP	UB-MP-EXP
	Logistic	LOG	B-MP-LOG	UB-MP-LOG
	Two-Parameter Lognormal	LN2	B-MP-LN2	UB-MP-LN2
	Gamma	GAM	B-MP-GAM	UB-MP-GAM
	Log Pearson Type III	LPIII	B-MP-LPIII	UB-MP-LPIII
	Four Parameter Wakeby	WK4	B-MP-WK4	UB-MP-WK4
	Five Parameter Wakeby	WK5	B-MP-WK5	UB-MP-WK5

Nas séries de vazões da ONS não foram realizadas análises de consistência, pois trabalhos de consistência hidrológica das séries foram coordenados pelo ONS, com a participação da ANEEL, ANA, MME, EPE e dos Agentes de Geração e as séries utilizadas são resultantes destes trabalhos (ONS, 2012).

3.4 Método Conjugado - Análise de Frequência Conjugada (AFC)

A AFC foi aplicada utilizando os máximos anuais, considerando o ano hidrológico, obtidos das séries históricas de vazões das áreas utilizadas como estudo de caso. Os limites superiores, cheias máximas prováveis (CMP), serão obtidos de estudos realizados anteriormente. Para aplicação da AFC será utilizado o programa MC (Método Conjugado) desenvolvido por Garcia (1996b). Na estimação dos parâmetros serão utilizados os métodos dos mínimos quadrados, métodos dos momentos e método da máxima verossimilhança. Os equacionamentos para o método AFC são apresentados no Capítulo 2: DETERMINAÇÃO DE VALORES MÁXIMOS DE VAZÃO.

3.5 Método do Hidrograma Máximo Mais Provável (HMMP)

O método do Hidrograma Máximo Mais Provável, proposto por Conte (2012), foi originado pela junção dos conceitos do Hidrograma Unitário Curvilíneo (HUC) de Mockus e a distribuição mais provável de ocorrência das chuvas no primeiro quartil, conforme trabalho de Huff. O método sugere que quando um evento ocorrido é realmente significativo e raro para uma bacia hidrográfica, o comportamento deve ser semelhante ao de um hidrograma próximo do HUC, com relação entre o pico e a média da vazão excedente registrada de $k = 3,7453$. O tempo de base (TB) deverá ser determinado e as máximas médias móveis de vazão de duração TB , obtidas para cada ano hidrológico, são ordenadas, plotadas em papel mono logarítmico e analisadas utilizando uma distribuição exponencial simples (d.e.s.) ou uma regressão linear simples (r.l.s.) para definição dos coeficientes das formulações do método do HMMP.

Com base no roteiro proposto por Conte (2012) para obtenção do HMMP em grandes bacias hidrográficas, foi realizado o seguinte procedimento:

- 1º) Selecionar os dados médios diários de vazões.
- 2º) Selecionar dados das vazões máximas médias diárias anuais.
- 3º) Selecionar as três maiores vazões da série de máximos e os respectivos hidrogramas.

4º) Estimar do tempo de base (T_B) da bacia através da observação do comportamento dos hidrogramas selecionados no 3º passo. Os seguintes aspectos foram considerados e inicialmente foram estimados três T_B :

- a) Número de dias consecutivos do ano hidrológico com valores de vazão acima da vazão média de longo termo (Q_{MLT});
- b) Número de dias em que as vazões são maiores do que a Q_{MLT} , através da observação dos hidrogramas selecionados no 3º passo e da reta correspondente Q_{MLT} calculada para o local;
- c) Nos casos em que a base do hidrograma, correspondente à vazão máxima selecionada no 3º passo, é de fácil definição, o tempo foi estimado a partir da base e não foram considerados os aspectos dos itens (a) e (b).

5º) Obter as séries de volume dos hidrogramas (ou das vazões médias de duração igual à base do hidrograma) obtidas através das médias móveis das vazões diárias com intervalo de tempo T_B .

6º) Selecionar os máximos volumes para cada ano hidrológico (série de vazões médias máximas com intervalo de tempo T_B).

7º) Tanto para as médias diárias como para as médias de duração T_B ordenar as séries de máximas anuais. Calcular o tempo de retorno empírico para as séries de máximas vazões diárias e máximas vazões médias com tempo de base T_B . Para o cálculo do tempo de retorno empírico foi utilizada a fórmula Califórnia (Quadro 2.2).

8º) Obter os ajustes logarítmicos (r.l.s. e d.e.s.) aos pares (Q_M, y), sendo $y = \ln T$, Q_{OM} a vazão média e o respectivo tempo de retorno (T), e obtendo a equação de ajuste $Q_M = Q_B + G_0 \cdot \ln(T)$, onde Q_B e G_0 são parâmetros de ajuste. Sendo Q_M : vazão média do hidrograma com base t_0 (m^3/s); $G_0 = \omega/t_0$: constante a ser determinada (m^3/s), representa o desvio padrão da amostra de dados de volumes excedentes; Q_B : vazão de base do hidrograma com duração característica t_0 (m^3/s), vazão para $T=1$ ano; $y = \ln T$: variável reduzida; t_0 : duração da base de análise considerada (s); T : período de retorno (anos). Para o uso da d.e.s. é necessário considerar um coeficiente de segurança $\alpha = 1/y_M$ (Tabela 9.3 no Anexo III), a ser aplicado na equação:

$$Q_M = Q_1 + \alpha \cdot \sigma \cdot y = Q_B + \alpha \cdot G_0 \cdot \ln(T) \quad \text{Equação 3.3}$$

sendo Q_1 : extremo inferior de ajuste $= Q_M - \sigma = Q_B$; $Q_M = (\sum Q_i)/n$: média da amostra das vazões de duração t_0 ; σ : desvio-padrão da amostra $= G_0$; $y = \ln(T)$: variável reduzida. O coeficiente de segurança adicional é aplicado, pois uma amostra de tamanho

infinito possui valores de média e desvio-padrão confiáveis que não necessitariam correção (ou qualquer coeficiente de segurança adicional). Entretanto, para uma amostra n , de tamanho finito o coeficiente de segurança adicional se faz necessário.

- 9º) Para períodos de retorno entre 1 e 10.000 anos determinar os picos diários de projeto considerando o modelo do HUC:

$$Q_P = Q_B + 3,7453 \cdot G_0 \cdot \ln(T) \quad \text{Equação 3.4}$$

- 10º) Para períodos de retorno entre 1 e 10 anos, ajustar as distribuições estatísticas usuais e comparar com os valores obtidos pelo HUC e adotar os maiores valores.

- 11º) Para escolher o TB e o hidrograma-padrão para obtenção dos valores de projeto de vazão de pico e o hidrograma de projeto foi utilizado o seguinte procedimento:

- a) Observar a r.l.s. e a d.e.s. e os valores estimados para as vazões e identificar os ajustes que levaram a vazões estimadas menores do que as das séries para $T > 10$ anos. Caso isso ocorra o valor de TB não é adequado para utilização.
- b) Dentre os TB que atenderam a condição (a) escolher o que possui a relação entre o pico e a média da vazão excedente registrada ($k = [Q_P - Q_B] / [Q_{TB} - Q_B]$) mais próxima do $k = 3,7453$ definido por Mockus. Essas relações devem ser observadas para os três hidrogramas selecionados no 3º passo.

Nota: As relações k tendem a crescer indefinidamente à medida que os volumes unitários são sensivelmente reduzidos devido à ocorrência de eventos chuvosos cuja distribuição temporal favorece a antecipação dos picos instantâneos. Conte (2012) entende que a distribuição de Huff com 10% de probabilidade, com k da ordem de 5,1758, entre picos e médias, são bastante improváveis de ocorrer. Finalmente, Conte (2012) reforça sua opinião em aceitar e recomendar como suficiente a adoção da relação $k = 3,7453$ (Huff – 1º quartil – probabilidade de 50%) como sendo a relação máxima mais provável a ser considerada nos projetos.

- c) O hidrograma com a relação entre o pico e a média da vazão excedente registrada mais próxima do $k = 3,7453$ é indicado como hidrograma significativo para a bacia e é selecionado como hidrograma-padrão.
- d) Definido o TB da bacia, a vazão de pico já determinada no 9º passo é escolhida para o tempo de retorno desejado.
- e) Com a vazão de pico o hidrograma de projeto pode ser determinado utilizando as ordenadas do HUC de projeto (Tabela 3.3) ou as ordenadas do Hidrograma Padrão (definido no item (c)).

Tabela 3.3 - Ordenadas do Hidrograma Unitário Curvilíneo (HUC) de Victor Mockus (MCCUEN, 1989).

t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp	t/tp	Q/Qp
0	0	1	1	2	0,28	4	0,011
0,1	0,03	1,1	0,99	2,2	0,207	4,5	0,005
0,2	0,1	1,2	0,93	2,4	0,147	5	0
0,3	0,19	1,3	0,86	2,6	0,107		
0,4	0,31	1,4	0,78	2,8	0,077		
0,5	0,47	1,5	0,68	3	0,055		
0,6	0,66	1,6	0,56	3,2	0,04		
0,7	0,82	1,7	0,46	3,4	0,029		
0,8	0,93	1,8	0,39	3,6	0,021		
0,9	0,99	1,9	0,33	3,8	0,015		

3.6 Avaliação e comparação dos métodos

Os métodos de determinação de vazão foram avaliados e comparados quanto à estabilidade, à influência da extensão das séries de dados hidrológicos observados, da presença de *outliers* e da variação dos menores valores da série de máximos, nos valores máximos inferidos pelos métodos. Para tal realizaram-se estudos de caso visando a identificar as dificuldades para obtenção dos valores máximos de projeto, as vantagens e inconsistências de cada método. As subséries utilizadas para cada análise são apresentadas no Apêndice I e a indicação do uso no Quadro 3.3.

Quadro 3.3 - Indicação das séries utilizadas nas análises dos resultados e nas comparações entre os métodos.

Análises	Séries Utilizadas
Análise da estabilidade do método	Série 2, Série 3, Série 4, Série 5, Série 6, Série 2_SSRH*, Série 3_SSRH*, Série 4_SSRH*, Série 5_SSRH*, Série 6_SSRH*
Sensibilidade do método ao tamanho da amostra	Série 1, Série 2, Série 3, Série 4, Série 5, Série 6, Série 1_SSRH*, Série 2_SSRH*, Série 3_SSRH*, Série 4_SSRH*, Série 5_SSRH*, Série 6_SSRH*, Série 7_SSRH*, Série Conte – 1**, Série Conte – 2**
Sensibilidade do método a presença de pontos atípicos	Série 1, Série 1 s_outlier, Série 1_SSRH*, Série 1 s_outlier_SSRH*
Sensibilidade do método aos menores valores	Série 1 s_outlier, Série 1_vmin_20, Série 1_vmaj_20, Série 1 s_outlier_SSRH*, Série 1_vmin_20_SSRH*, Série 1_vmaj_20_SSRH*

Séries utilizadas apenas para o estudo de caso: *Estação Paso de Los Libres, **UHE Sobradinho.

3.6.1 Critérios para análise da estabilidade

Os métodos serão analisados quanto à estabilidade, sendo aplicados a amostras da série completa com janelamento (40 anos de dados) e sobreposição de n anos de dados

(Figura 3.2). Na Figura 3.2, por exemplo, n corresponde a 10 anos. Para análise da estabilidade do método foram realizadas as análises das subséries obtidas: Série 2, Série 3, Série 4, Série 5 e Série 6.

Figura 3.2 - Subdivisão da série completa (Série 1) em subséries (Série 2, Série 3, Série(n)).

A análise da estabilidade busca avaliar a capacidade que os métodos possuem em estimar uma determinada vazão associada a um tempo de retorno e manter essa estimativa ao serem utilizadas diferentes subséries. O método ser considerado estável acrescenta segurança à sua aplicação. Os resultados são apresentados para os estudos de caso realizados em termos das diferenças máximas percentuais (DM) entre os valores estimados para as vazões decamilenares, segundo as diversas análises.

3.6.2 Critérios para a análise da sensibilidade

A análise de sensibilidade consiste em avaliar as variáveis de saída em função de alterações nas variáveis de entrada. A análise de sensibilidade dos métodos ao tamanho da amostra, a presença de pontos atípicos e aos menores valores é realizada para julgar o desempenho do método em relação a esses fatores:

- Tamanho da amostra: Em relação à sensibilidade dos métodos ao tamanho da amostra foram avaliadas as variações nas estimativas da amostra completa e das subséries;
- Presença de pontos atípicos: comparação das estimativas obtidas com o uso da série completa (Série 1) com as estimativas realizadas utilizando a subsérie sem a vazão considerada atípica (Série 1 s_outlier);
- Presença dos menores valores: para a verificação da influência dos menores valores consideraram-se as séries com os três menores valores minorados em 20% (Série 1_vmin_20) e majorados em 20% (Série 1_vmaj_20).

Será avaliada a variação dos valores estimados dado pelo Erro Padrão médio (EP), Diferença Máxima percentual (DM) e pela Raiz do Erro Quadrático Médio ($RMSE$) entre as vazões observadas e estimadas. Assim pretende-se comparar o efeito destes fatores nas

estimativas obtidas pelos métodos em estudo. Essas análises também foram realizadas em outros trabalhos (GARCIA; BRAGA JR, 1997; GARCIA, 1996a; SOUZA, 2006).

O erro padrão médio (*EP*) é dado como resultado da utilização do software Flood Frequency Analysis (RAO; HAMED, 2003). Cada distribuição e método de estimação de parâmetros produzirão diferentes erros-padrão da estimativa, sendo que o de maior eficiência, do ponto de vista estatístico, é aquele que resultar no menor valor para *EP*, as formulações são descritas por Rao e Hamed (2000).

A diferença máxima percentual (*DM*) é calculada entre as vazões inferidas para as análises realizadas, e é dada pela Equação 3.5:

$$DM(\%) = \left(\frac{X_{\text{estimado máximo}}}{X_{\text{estimado mínimo}}} - 1 \right) \cdot 100 \quad \text{Equação 3.5}$$

A Raiz do Erro Quadrático Médio (*Root Mean Square Error – RMSE*) mede a amplitude do erro. Um *RMSE* de valor zero indica uma previsão perfeita, e conforme aumenta a diferença entre os valores estimados e observados o *RMSE* aumenta (Equação 3.6).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{\text{observado},i} - X_{\text{estimado},i})^2}{n}} \quad \text{Equação 3.6}$$

Algumas análises específicas serão realizadas para cada método: para o método AFL foram realizadas análises de sensibilidade ao método de ajuste dos parâmetros (B, UB, MM, MV, MP); para a AFC foram realizadas análises da sensibilidade ao método de ajuste dos parâmetros (MQ, MM e MV) e da sensibilidade do método em relação à CMP; e para HMMP serão analisadas a sensibilidade ao método de ajuste (d.e.s. e r.l.s.) e ao tempo de base adotado *T_B*.

4 ESTUDOS DE CASO

Os resultados das análises realizadas para a determinação das vazões máximas de projeto segundo os métodos da Análise de Frequência Local (AFL), da Análise de Frequência Conjugada (AFC) e do Hidrograma Máximo Mais Provável (HMMP) serão apresentados na forma de estudos de caso. A escolha dos locais para estudo e os resultados dos procedimentos utilizados são apresentados de forma a avaliar as simulações e respostas de cada método.

Inicialmente as características estatísticas das séries de estudo foram obtidas e testes de hipóteses não paramétricos foram aplicados para avaliar a adequação das séries aos pressupostos necessários ao uso dos métodos em análise. Em seguida, as séries de vazões aceitas nos testes de aleatoriedade, independência, homogeneidade e estacionariedade foram utilizadas para aplicação dos métodos AFL, AFC e HMMP.

Para cada estudo de caso serão apresentados os resultados dos métodos em termos principalmente das vazões decamilenares estimadas e das curvas ajustadas, e de forma mais detalhada serão descritas as metodologias que produziram os melhores resultados. A comparação entre os resultados obtidos e a análise crítica dos métodos será discutida no Capítulo 5: ANÁLISE CRÍTICA DOS MÉTODOS.

4.1 Aquisição e Tratamento dos Dados

Os estudos aqui reportados foram realizados sobre as séries de vazões diárias máximas anuais de 11 aproveitamentos hidrelétricos, disponibilizadas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2012) em escala diária, e 4 estações fluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica (BH) do Rio Uruguai (CNEC/ESIN/PROA, 2010).

4.1.1 Estatística descritiva

Com o intuito de expressar as informações mais relevantes dos conjuntos de dados são apresentados os parâmetros estatísticos das séries de vazões diárias máximas anuais (ver Tabela 4.1), cuja estatística descritiva é apresentada em termos dos valores máximos,

mínimos, médias, desvios padrão (*DP*), coeficientes de assimetria (*CS*) e dos quartis amostrais.

Tabela 4.1 - Estatísticas descritivas das séries de vazões diárias máximas anuais.

Estatísticas	Nº de dados	Máx. (m³/s)	Mín. (m³/s)	Média (m³/s)	DP (m³/s)	CS	Quartil (m³/s)		
							1º (0,25)	2º (0,50)	3º (0,75)
Caconde	73	564	85	253	105	0,7626	176	239	319
Funil	79	3.731	521	1.233	484	2,3510	942	1.166	1.362
Furnas	79	7.497	1.589	3.278	1.065	1,0470	2.491	3.063	3.809
Ilha solteira	79	25.630	4.896	14.390	3.415	0,4511	12.208	13.680	16.653
Itaipu	79	42.320	11.840	22.670	5.523	1,1340	18.801	22.061	25.934
Jupia	79	30.500	5.732	16.730	3.919	0,3930	14.185	16.759	19.340
M. de Moraes	79	7.798	1.753	3.649	1.158	0,9438	2.813	3.485	4.203
Paraibuna	79	1.061	131	325	172	2,4130	222	270	370
Porto Primavera	79	31.090	6.068	17.440	3.849	0,2692	15.071	17.608	19.752
Sobradinho	79	18.530	3.359	7.097	2.669	2,2660	5.529	6.450	7.704
Três Marias	79	7.245	1.309	3.207	1.121	1,1180	2.515	3.027	3.827
Garruchos	77	41.930	3.069	16.420	7.166	1,0390	11.330	15.432	20.220
Paso de Los Libres	77	35.080	2.369	16.850	6.510	0,6070	12.397	15.432	20.979
El Soberbio	62	48.230	4.647	16.000	8.837	1,7240	10.250	13.923	19.072
San Javier	77	53.420	3.726	19.500	9.281	1,1960	13.139	18.829	23.158

DP: Desvio Padrão; *CS*: Coeficiente de Assimetria.

As estatísticas descritivas (Tabela 4.1) indicam as características das amostras de dados (séries de vazões médias máximas, ver Anexo IV). A média é uma medida de tendência central dos dados, o desvio padrão é uma medida de dispersão dos elementos e a assimetria é o grau de desvio, ou afastamento da simetria, de uma distribuição. A análise das características estatísticas permite, por exemplo, a constatação de que, de fato, o coeficiente de assimetria das vazões máximas anuais é positivo. As medidas dos quartis amostrais representam o diagrama de frequências acumuladas e permite a identificação imediata da mediana 2º Quartil (0,5) e os valores correspondentes à frequência de não superação de 0,25 no 1º Quartil, de 0,5 no 2º Quartil e de 0,75 no 3º Quartil (Tabela 4.1).

4.1.2 Tratamento dos dados

A análise da representatividade, aleatoriedade, independência, homogeneidade, estacionariedade e da presença de pontos atípicos (*outliers*) foi feita com a aplicação de testes de hipóteses não paramétricos (apresentados no Quadro 3.1 e no Anexo II). Os testes estatísticos foram aplicados a todas as séries do estudo e foi adotado um nível de significância (α) de 5%, para o qual o valor crítico *Z* é de 1,96. A análise da

representatividade é caracterizada a partir das estatísticas descritivas apresentadas na Tabela 4.1. Os locais foram avaliados quanto à rejeição ou aceitação das hipóteses dos testes estatísticos (Quadro 4.1), segundo os valores das estatísticas de testes apresentados na Tabela 4.2.

Quadro 4.1 - Resultado da aplicação dos testes estatísticos (nível de significância de 5%).

		Caconde	Funil	Furnas	Ilha solteira	Itaipu	Jupia	M. de Moraes ¹	Paraibuna ²	Porto Primavera	Sobradinho	Três Marias	Garruchos	Paso de Los Libres ³	El Soberbio	San Javier
ANÁLISE	TESTE															
Aleatoriedade	Median Crossing	A	A	A	A	R	A	A	A	R	R	A	A	A	A	R
	Turning Points	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	Rank Difference	A	R	R	A	R	A	R	A	R	A	A	A	A	R	A
Independência	Wald-Wolfowitz	I	A	A	A	R	A	A	I	R	A	A	R	A	A	A
Homogeneidade	Mann-Whitney	A	A	A	A	R	R	A	A	R	A	A	A	A	A	A
	Mann-Kendall	A	A	A	R	A	R	R	A	R	A	A	A	A	A	A
Estacionariedade	Spearman's Rho	A	A	A	R	A	R	A	R	R	A	A	A	A	A	A
	Pettitt	A	A	A	R	R	R	A	A	R	A	A	A	A	A	A
Identificação de Outlier	Grubbs e Beck															
	Limite Superior	N	S	N	N	N	N	N	S	N	S	N	N	N	N	N
	Limite Inferior	N	N	N	S	N	S	N	N	S	N	N	S	S	N	S
	Teste de Assimetria															
	Limite Superior	N	S	S	N	N	N	N	S	S	N	N	N	N	N	N
	Limite Inferior	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N

¹ Mascarenhas de Moraes (Peixoto); ² Paraibuna/Paraitinga; ³ Paso de Los Libres obteve os mesmos resultados em termos de A/R para as duas séries analisadas (Série 1 e Série 1_SSRH). A - Aceito; R - Rejeitado; I - Teste não aplicável, resultado não permite avaliar a hipótese nula; S - Sim, há outlier; N - Não, não há outlier.

A hipótese de aleatoriedade foi avaliada mediante testes estatísticos utilizando o software TREND®. Dentre os testes utilizados Median Crossing, Turning Points e Rank Difference, o teste Turning Points é o mais usual (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Quanto à aleatoriedade os locais que apresentaram significância estatística para dois ou mais testes de aleatoriedade foram considerados séries com fortes evidências de não aleatoriedade. A amostra rejeitada para apenas um dos testes foi aceita como aleatória, exceto se rejeitada no teste Turning Points, considerado o mais usual dos testes em estudos hidrológicos. Assim, foram rejeitadas as séries de vazões diárias máximas anuais de Itaipu e Porto Primavera (Quadro 4.1 e Tabela 4.2). Por exemplo, segundo o teste Median Crossing (Anexo II), se $|T| > Z_{1-\alpha/2}$ deve-se rejeitar H_0 , para Itaipu a estatística $|T| = 3,623 > Z_{0,975} = 1,96$

(Tabela 4.2), donde se conclui que os dados não resultam de um processo aleatório (a um nível de significância $(\alpha) < 0,05$).

Tabela 4.2 - Valores dos testes estatísticos e p -valores para os aproveitamentos hidrelétricos.

			Caconde	Funil	Furnas	Ilha Solteira	Itaipu	Jupia	M. de Moraes ¹	Paraibuna ²	Porto Primavera	Sobradinho	Três Marias
Testes													
Aleatoriedade	Median Crossing	T	0,471	1,812	1,132	0,679	3,623	0,453	1,585	0,906	2,717	2,380	1,132
	Turning Points	T	0,656	-1,440	0,180	0,180	0,450	0,900	0,900	0,900	0,450	0,450	0,450
	Rank Difference	T	0,372	-2,317	-2,620	-1,472	-3,460	-1,575	-2,812	0,509	-2,345	0,915	-1,320
Independência	Wald-Wolfowitz	T_1	-2,002	0,115	0,568	-0,791	-3,736	-1,244	0,568	-1,924	-3,056	1,021	0,115
		p_1	0,023	0,546	0,715	0,214	0,000	0,107	0,715	0,027	0,001	0,846	0,546
		T_2	-1,059	-	-	-	-	-0,791	0,568	0,341	-	1,927	-
		p_2	0,145	-	-	-	-	0,214	0,715	0,634	-	0,973	-
Homogeneidade	Mann-Whitney	V	648	745	643	605	229	540	641	652	434	714	641
		T	-0,199	-0,343	-1,343	-1,716	-5,403	-2,358	-1,368	-1,255	-3,393	-0,647	-1,363
		p	0,843	0,731	0,179	0,086	0,000	0,018	0,171	0,209	0,001	0,518	0,173
Estacionariedade	Mann-Kendall	T	0,429	0,483	1,897	2,400	5,647	2,925	2,200	1,613	3,903	0,821	1,503
	Spearman's Rho	T	0,346	0,444	1,879	2,128	5,515	2,997	1,908	1,668	3,922	0,802	1,527
	Pettitt	Ano	1978	1958	1958	1975	1970	1975	1958	1955	1975	1993	1976
		p	0,932	0,566	0,068	0,026	0,000	0,003	0,081	0,130	0,000	0,393	0,053
Identificação de Outlier	Grubbs e Beck	$Q_{\min}$	85	521	1.589	4.896	11.840	5.732	1.753	131	6.068	3.359	1.309
		$Q_{\max}$	564	3.731	7.497	25.600	42.320	30.500	7.798	1.061	31.090	18.500	7.245
	Limite Superior	x_S	803	3.103	7.876	29.100	43.870	33.750	8.644	1.002	34.160	16.700	8.317
	Limite Inferior	x_I	67	435	1.236	6.719	11.090	7.829	1.401	87	8.453	2.724	1.102
	Teste de Assimetria												
	Limite Superior		NS	SS	SS	NS	NS	NS	NS	SS	SS	NS	NS
	Limite Inferior		NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI	NI

¹Mascarenhas de Moraes (Peixoto); ²Paraibuna/Paraitinga; NS - não há *outlier*, a retirada do máximo amostral não resultou em uma mudança significativa da assimetria; NI - não há *outlier*, a retirada do mínimo amostral não resultou em uma mudança significativa da assimetria; SS – sim, há *outlier*, a retirada do máximo amostral resultou em uma mudança significativa da assimetria.

A hipótese de independência dos dados (correlação serial) verificada através do teste de Wald-Wolfowitz utilizando o software SPSS® foi rejeitada para três (3) das quinze (15) localidades: Itaipu, Porto Primavera e Garruchos (Quadro 4.1, Tabela 4.2 e Tabela 4.3). Quanto a independência dos dados a hipótese nula é rejeitada se a probabilidade associada (p) é menor que o nível de significância adotado (α). Para Caconde e Paraibuna a probabilidade associada ao número mínimo (p_1) e máximo (p_2) de iterações, apresentaram resultados

divergentes, sendo o método considerado inaplicável. Para Porto Primavera o valor de $p_1 = 0,001$ (Tabela 4.2) é menor do que o $\alpha = 0,05$ (nível de significância), assim, a hipótese de independência deve ser rejeitada. A homogeneidade dos dados foi avaliada pelo teste de Mann-Whitney utilizando o software SPSS®, a hipótese nula é rejeitada se $p < \alpha$. Em Itaipu, Jupiá e Porto Primavera a condição de homogeneidade da série não é aceita, considerando o teste de Mann-Whitney (Quadro 4.1 e Tabela 4.2).

Tabela 4.3 - Valores dos testes estatísticos e p -valores para estações fluviométricas da bacia do rio Uruguai.

Análise	Teste		Garruchos	Paso de Los Libres	El Soberbio	San Javier	Paso de Los Libres SSRH
Aleatoriedade	Median Crossing	T	0,688	0,918	1,921	2,294	0,784
	Turning Points	T	0,000	0,547	1,223	0,547	0,311
	Rank difference	T	0,958	0,665	2,137	1,752	0,488
Independência	Wald-Wolfowitz	T_1	-2,637	-0,113	0,777	-0,343	-0,982
		p_1	0,004	0,455	0,782	0,366	0,163
		T_2	-2,637	0,346	-	-0,343	-0,588
		p_2	0,004	0,635	-	0,366	0,278
		V	614	633	453	673	1284
Homogeneidade	Mann-Whitney	T	-1,299	-1,100	-0,380	-0,698	-0,442
		p	0,194	0,271	0,704	0,485	0,658
		T	1,192	1,117	0,346	0,787	0,496
Estacionariedade	Mann-Kendall	T	1,361	1,670	0,449	0,782	0,456
	Spearman's Rho	Ano	1981	1981	1982	1989	1981
		p	0,157	0,316	1,052	0,521	0,680
Identificação de Outlier	Grubbs e Beck	$Q_{\min}$	3.069	2.369	4.647	3.726	3.039
		$Q_{\max}$	41.930	35.080	48.230	53.400	38.256
	Limite Superior	x_S	56.800	54.740	57.900	73.500	52.778
	Limite Inferior	x_I	3.919	4.413	3.440	4.141	4.834
	Teste de Assimetria						
	Limite Superior		NS	NS	NS	NS	NS
	Limite Inferior		NI	NI	NI	NI	NI

NS - não há outlier, a retirada do máximo amostral não resultou em uma mudança significativa da assimetria; NI - não há outlier, a retirada do mínimo amostral não resultou em uma mudança significativa da assimetria.

A detecção de tendência nas séries de vazões diárias máximas anuais possibilitou detectar modificações nas séries. Para avaliar mudanças ao longo do tempo, ou seja, variações nas características estatísticas das séries, os testes de Mann-Kendall e o Spearman's Rho (software TREND®) foram utilizados. Como o teste de Spearman's é mais usual na hidrologia, no caso da amostra ser rejeitada apenas no teste da Mann-Kendall, neste estudo, a amostra foi considerada estacionária. Nas séries de Ilha Solteira, Jupiá, Paraibuna e Porto Primavera

foram detectadas forte evidência de que os dados possuem tendência crescente (Quadro 4.1 e Tabela 4.2).

Para identificar alterações pontuais na série, o teste de Pettitt foi aplicado com auxílio do software KhronoStat. Mudanças bruscas nas séries foram encontradas em Ilha Solteira, Itaipu, Jupiá e Porto Primavera (Quadro 4.1 e Tabela 4.2). Nota-se assim que os quatro aproveitamentos do estudo que se encontram na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná apresentaram mudanças repentinas na média e variância, que ocorreram em Itaipu no ano de 1970 e Ilha Solteira, Jupiá e Porto Primavera em 1975 (Tabela 4.2).

As séries de vazões que atenderam os critérios de representatividade, aleatoriedade, independência, homogeneidade e estacionariedade foram: Funil, Furnas, Mascarenhas de Moraes (Peixoto), Sobradinho, Três Marias, Paso de Los Libres, El Soberbio, San Javier e Paso de Los Libres_SSRH (Quadro 4.1, Tabela 4.2 e Tabela 4.3). Para utilização das séries que não atenderam as premissas é necessária a divisão das séries em subséries e uma nova avaliação dos critérios de representatividade, aleatoriedade, independência, homogeneidade e estacionariedade. Os locais que não atenderam esses pressupostos não foram utilizados para determinação de cheias de projeto.

Os testes de Grubbs e Beck e o teste de assimetria possibilitaram a identificação da presença de *outliers*. Para análise da sensibilidade dos métodos à presença de *outliers* e sua influência nos valores máximos inferidos foram selecionadas as localidades que atenderam as premissas e onde foram identificados *outliers*. Nas localidades de Funil e Sobradinho os pontos atípicos foram identificados no limite superior (Quadro 4.1 e Tabela 4.2). Em Paso de Los Libres, San Javier e Paso de Los Libres_SSRH foram identificados pontos atípicos no limite inferior (Quadro 4.1 e Tabela 4.3). Em Furnas foram identificados pontos atípicos nos limites inferior e superior pelo teste de assimetria (Quadro 4.1 e Tabela 4.2). Nas localidades de Três Marias, Mascarenhas de Moraes e El Soberbio não foram identificados *outliers* por nenhum dos testes aplicados (Quadro 4.1, Tabela 4.2 e Tabela 4.3).

A análise da estacionariedade de 146 séries de aproveitamentos hidrelétricos de subsistemas do SIN (Sistema Interligado Nacional), no período de 1931 a 2007, realizada por Detzel et al. (2011), 75 apresentam condição de não estacionariedade. As séries das localidades de Três Marias, Mascarenhas de Moraes e Furnas foram consideradas estacionárias segundo os seis testes aplicados: t-Student, Cox-Stuart, Wilcoxon, Coeficiente de Correlação de Spearman, Mann-Kendall e F-Snedecor. A UHE de Sobradinho tem o valor de $p = 0,049$ menor do que o $\alpha = 0,05$ (nível de significância), assim, a hipótese de estacionariedade dos dados é rejeitada (DETZEL et al., 2011). Nas análises realizadas com a

Série 1, de Sobradinho, as hipóteses nulas não foram rejeitadas para nenhum dos testes, Mann-Kendall e Spearman's Rho, nem na análise de mudança brusca na série realizada pelo teste de Pettitt. Para Funil as análises foram rejeitadas pelo teste de Wilcoxon ($p = 0,027$) e Coeficiente de Correlação de Spearman ($p = 0,039$) (DETZEL et al., 2011).

Assim, a determinação de vazões máximas foi realizada usando os métodos AFL, AFC e HMMP para os aproveitamentos UHE Sobradinho e UHE Três Marias. A UHE Sobradinho foi selecionada com o intuito de realizar uma análise comparativa com outros estudos que utilizaram esta localidade (CONTE, 2012; SOUZA, 2006). A UHE Três Marias foi selecionada por não ter sido rejeitada para nenhum dos testes de hipóteses não paramétricos. No entanto, a série não possui pontos considerados atípicos, não permitindo assim a análise da sensibilidade dos métodos à presença de *outliers*.

O estudo para definição das vazões decamilenares para a estação fluviométrica de Paso de Los Libres, localizada na bacia do Rio Uruguai, será realizado aplicando-se os métodos AFL e HMMP. Para esta localidade não foi utilizado o método AFC, pois não existe CMP pré-definida. No estudo da AFL são utilizadas as mesmas distribuições estatísticas aplicadas no inventário da BH do rio Uruguai (CNEC/ESIN/PROA, 2010) e comparados os valores de vazões definidos no estudo e nas análises realizadas (estabilidade e sensibilidade). Esta estação foi selecionada por terem sido aceitas todas as hipóteses dos testes estatísticos tanto para a Série 1, série de máximos utilizada no inventário da bacia (CNEC/ESIN/PROA, 2010), como na Série 1_SSRH, obtida na base de dados da Subsecretaria de Recursos Hídricos (Argentina) (SSRH, 2013).

Os resultados dos métodos aplicados aos estudos de caso selecionados (UHE Sobradinho, UHE Três Marias, Paso de Los Libres e Paso de Los Libres_SSRH) serão apresentados de forma a permitir uma avaliação, comparação e análise crítica da aplicação.

4.2 UHE Sobradinho

A UHE Sobradinho drena uma área de 498.425 km² com uma vazão específica estimada em 0,07 m³/s/km². A cheia máxima provável (CMP) de 36.300 m³/s foi obtida nos trabalhos de Anjos e Almeida¹⁷ (1981) e Staico¹⁸ (1981) *apud* Souza (2006), e foi definida pelo cálculo da precipitação máxima provável (PMP) e utilização de modelo chuva-vazão. A

¹⁷ ANJOS, N.F.R.; ALMEIDA, S.B.; Diagnóstico Preliminar dos Critérios Utilizados pelo Setor Elétrico para o Cálculo das Vazões de Projeto de Vertedouros, IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Vol. 4, pp. 452-463, Fortaleza- CE, 1981.

¹⁸ STAICO, J. Subsídio ao Estudo das Cheias no Vale Principal da Bacia do Rio São Francisco, IV Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos, Vol. 2, pp. 03-18, Fortaleza-CE, 1981.

série compreende o período de 1931 a 2010, com 79 anos de dados (Figura 4.1). O ano hidrológico na bacia inicia no mês de setembro apresentando as maiores vazões médias diárias no trimestre de janeiro a março. A vazão máxima diária da série ($Q_{m\acute{a}x}$) é de 18.525 m³/s e ocorreu no mês de março de 1979.

Figura 4.1 - Fluviograma para a UHE Sobradinho (1931 a 2010).

A série de vazões diárias máximas anuais (m³/s), obtidas a partir da série de vazões diárias naturalizadas da UHE Sobradinho (ONS, 2012), são apresentadas na Tabela 9.7 do Anexo IV e na Figura 4.2. Os três maiores picos foram de 18.525 m³/s no ano hidrológico de 1978-1979, 16.895 m³/s em 1991-1992 e 15.003 m³/s em 1948-1949.

Figura 4.2 - Série de vazões diárias máximas anuais (m³/s) para a UHE Sobradinho.

Na análise da UHE Sobradinho foram utilizadas a série completa (Série 1) e dez subséries (Tabela 8.1 no Apêndice I). As séries e subséries foram utilizadas para análise da estabilidade do método, sensibilidade do método ao tamanho da amostra, presença de pontos atípicos e aos menores valores (Quadro 3.3). As estatísticas descritivas da série e subséries são apresentadas na Tabela 4.4. A vazão máxima observada ($Q_{m\acute{a}x}$) de 18.525 m³/s ocorrida no ano hidrológico de 1978-1979 foi considerada um *outlier* pelo teste de Grubbs e Beck (Quadro 4.1). A CMP definida para o local é de 36.300 m³/s. As subséries que não contém o valor da vazão considerada atípica (Série 2, Série Conte – 2, Série 1 s_outlier, Série 1_vmin_20, Série 1_vmaj_20) apresentam menores médias (Tabela 4.4). As Série 1 - Conte e Série 2 - Conte foram utilizadas por Conte (2012) como aplicação do método do HMMP para grandes bacias, e serão utilizadas neste estudo para comparação dos resultados.

Tabela 4.4 - Estatísticas descritivas da série completa (Série 1) e subséries de vazões diárias máximas anuais (m³/s) da UHE Sobradinho.

Séries	Ano início fim	Nº de dados	Máx. (m ³ /s)	Mín. (m ³ /s)	Média (m ³ /s)	DP (m ³ /s)	CS	Quartil (m ³ /s)		
								1º (0,25)	2º (0,50)	3º (0,75)
Série 1	1931 2010	79	18.525	3.359	7.097	2.669	2,27	5.529	6.450	7.672
Série 2	1931 1971	40	15.003	3.917	6.944	2.074	2,01	5.612	6.486	7.714
Série 3	1941 1981	40	18.525	3.359	7.394	2.995	2,01	5.525	6.716	7.899
Série 4	1951 1991	40	18.525	3.359	7.177	2.740	2,20	5.385	6.716	7.995
Série 5	1961 2001	40	18.525	3.359	7.325	3.143	2,10	5.492	6.635	7.656
Série 6	1970 2010	40	18.525	3.359	7.171	3.190	2,14	5.458	6.210	7.423
Série 1 - Conte	1928 1986	58	18.088	4.916	7.438	2.503	2,26	5.790	6.907	7.871
Série 2 - Conte	1928 1948	20	11.773	4.916	7.171	1.831	1,45	6.129	6.730	7.603
Série 1 s_outlier	1931 2010	78	16.895	3.359	6.951	2.345	2,04	5.529	6.434	7.611
Série 1_vmin_20	1931 2010	78	16.895	2.687	6.921	2.388	1,88	5.529	6.434	7.611
Série 1_vmaj_20	1931 2010	78	16.895	4.031	6.981	2.310	2,14	5.529	6.434	7.611

DP: Desvio Padrão; CS: Coeficiente de Assimetria.

A Série 2 - Conte é a subsérie com menor período de dados e apresenta valores estatísticos diferentes em relação às demais subséries quanto à assimetria (CS – Coeficiente de Assimetria) e à dispersão em relação à média (desvio padrão). Os valores calculados dos quartis para as subséries possuem valores semelhantes. O 2º Quartil representa a mediana. Como curiosidade, observa-se que a amplitude interquartis (*AIQ*), dada pela diferença entre

os valores do 3º Quartil e do 1º Quartil e a relação $3^{\circ} \text{Quartil} + 1,5 \cdot \text{AIQ}$ tem sido usada como critério para a identificação de *outliers* (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Ao considerar tal critério, as 7 (sete) maiores vazões da Série 1 seriam consideradas *outliers*. No entanto, este critério não foi utilizado neste trabalho para identificação da presença de *outlier*. Os testes utilizados foram o de Grubbs e Beck e o teste de assimetria (Quadro 4.1).

Os resultados são apresentados para os métodos AFL, AFC e HMMP e para as análises de estabilidade dos métodos e sensibilidade ao tamanho da amostra, a presença de pontos atípicos e aos menores valores.

4.2.1 AFL

Para aplicação do método da AFL, foram selecionadas, para cada distribuição de probabilidade, dentre as 82 combinações de análise, as que apresentaram os menores erros padrão médio e que foram aceitas em pelo menos um dos testes de aderência (Tabela 4.5), considerando o nível de significância de 5%. O erro padrão médio (*EP*) foi calculado pela média dos erros padrão para as vazões estimadas para os tempos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos.

Tabela 4.5 - Métodos estatísticos selecionados para o estudo da AFL, através da avaliação do erro padrão médio (*EP*) e dos testes de aderência, para UHE Sobradinho.

Métodos	<i>EP</i> * (m³/s)	Qui-Quadrado***	Kolmogorov-Smirnov***
UB e B-MV-LN3	4.869	Aceito	Aceito
UB e B-MV-GLOG	4.744	Aceito	Aceito
UB e B-MV-EV1	1.342	Aceito	Aceito
UB e B-MV-LOG	1.048	Rejeitado	Aceito
UB e B-MV-LN2	1.853	Rejeitado	Aceito
UB e B-MV-GAM	1.208	Rejeitado	Aceito
UB e B-MV-LPIII	6.121	Aceito	Aceito
B-MM-PIII	**	Aceito	Rejeitado
B-MM-GPAR	7.261	Aceito	Rejeitado
B-MM-W	7.079	Aceito	Rejeitado
B-MP-GEV	6.412	Aceito	Aceito
B-MP-EXP	2.674	Aceito	Rejeitado

* *EP* calculado pela média dos erros padrão para as vazões estimadas para os tempos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos; ** As simulações não apresentaram o valor do *EP*; ***Nível de significância de 5%.

As séries de vazões máximas foram ordenadas utilizando a posição de plotagem definida pela fórmula Califórnia (Quadro 2.2). Algumas das combinações de métodos e distribuições não convergiram. Dentre as 15 distribuições estatísticas utilizadas, três não convergiram para um resultado. Foram elas: Normal (N), Wakeby 4 parâmetros (WK4) e

Wakeby 5 parâmetros (WK5). A condição de aderência dos dados à distribuição de probabilidade Normal (N) foi rejeitada pelos dois métodos utilizados e para todas as combinações de análise. Nas distribuições WK4 e WK5 houve falhas na simulação e nenhuma simulação apresentou resultados para o *EP* e para os testes de aderência. A Figura 4.3 apresenta as vazões máximas observadas e as curvas das diferentes distribuições probabilísticas ajustadas para a Série 1.

Figura 4.3 - Vazões estimadas (m³/s) pelas distribuições ajustadas utilizando a Série 1, para a UHE Sobradinho.

Como esperado, a diferença máxima entre as distribuições selecionadas ocorre para a $Q_{10.000}$ sendo de 106%. A distribuição LOG apresenta o menor valor estimado de 17.844 m³/s e a distribuição GEV o maior valor de 36.693 m³/s (Figura 4.3). A $Q_{10.000}$ estimada pela distribuição GEV apresenta valor semelhante ao da CMP. Para tempos de retorno de 100 e 1.000 anos a diferença máxima entre as distribuições é de 38% e 64%. Nota-se que para tempos de retorno inferiores a 50 anos essa diferença é menor que 31%, e para o ajuste da Série 1 s_outlier essa diferença diminui para menos de 26%. Conforme observado também por Garcia (1996a) e Souza (2006), as distribuições apresentam bons ajustes para a faixa de valores com dados observados, mas a extrapolação das curvas para inferir valores extremos (ex. 1.000 e 10.000 anos) apresentam forte divergência.

Os parâmetros das distribuições de probabilidade selecionadas são apresentados na Tabela 4.6, as equações de algumas das distribuições são apresentadas no Quadro 2.4. As

vazões pelos momentos de estimação de parâmetros unbiased (UN) e biased (B) apresentam os mesmos valores para o método da MV. Para a distribuição GLOG as combinações de análise UB e B-MV-GLOG apresentaram os mesmos resultados e convergiram apenas para a Série 1_vmin_20.

Tabela 4.6 - Parâmetros das distribuições selecionadas para o estudo da AFL para a Série 1 e subséries de vazões diárias máximas anuais (m³/s) da UHE Sobradinho.

Método	Parâmetro	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Série 5	Série 6	Série 1 - Conte	Série 2 - Conte	Série 1 s_outlier	Série1_vmin_20	Série1_vmaj_20
B-MV-LN3*	a	2.513	2.861	2.138	1.914	2.299	2.535	**	4.213	2.325	640	4.420
	μ	8,30	8,21	8,44	8,46	8,37	8,27	43,74	7,83	8,34	8,69	**
	σ	0,49	0,44	0,49	0,45	0,53	0,58	0,00	0,57	0,44	0,34	0,81
B-MV-GLOG*	m	**	**	**	**	**	**	**	**	**	6,470	**
	a	**	**	**	**	**	**	**	**	**	1034	**
	k	**	**	**	**	**	**	**	**	**	-0,20	**
B-MV-EV1*	u	6.068	6.113	6.211	6.087	6.100	5.944	6.478	6.413	6.013	5.939	6.076
	α	1.604	1.345	1.861	1.781	1.910	1.866	1.441	1.199	1.509	1.681	1.396
B-MV-LOG*	m	6.661	6.650	6.905	6.819	6.810	6.617	7.016	6.884	6.600	6.594	6.613
	a	1.214	986	1.397	1.282	1.440	1.457	1.151	917	1.109	1.135	1.084
B-MV-LN2*	μ	8,81	8,81	8,85	8,82	8,83	8,81	8,87	8,85	8,80	8,79	8,81
	σ	0,31	0,25	0,34	0,32	0,35	0,36	0,27	0,22	0,29	0,30	0,27
B-MV-GAM*	α	732,95	484,04	903,58	790,54	980,52	1.007	618,75	381,87	611,57	666,32	577,26
	β	9,68	14,35	8,18	9,08	7,47	7,12	12,02	18,78	11,37	10,39	12,09
B-MV-LPIII*	γ	7,79	7,95	7,54	7,32	7,64	7,81	**	8,40	7,68	5,31	8,19
	α	0,09	0,07	0,08	0,07	0,10	0,12	**	0,11	0,07	0,03	0,12
	β	11,77	11,87	15,60	22,13	11,73	8,15	**	3,94	15,88	131,20	5,29
B-MM-PIII	γ	4.712	4.827	4.337	4.619	4.247	4.106	5.188	4.503	4.618	4.353	4.796
	α	2.948	1.980	2.862	2.862	3.131	3.236	2.737	1.194	2.326	2.193	2.412
	β	0,81	1,07	1,07	0,89	0,98	0,95	0,82	2,24	1,00	1,17	0,91
B-MM-GPAR	$zeta$	4.537	4.874	4.403	4.522	4.229	4.050	5.036	5.137	4.620	4.485	4.723
	α	2.473	2.094	3.024	2.607	3.086	3.093	2.326	2.339	2.332	2.502	2.221
	k	-0,03	0,01	0,01	-0,02	0,00	-0,01	-0,03	0,15	0,00	0,03	-0,02
B-MM-W	m	4.627	4.850	4.371	4.571	4.238	4.078	5.115	4.862	4.619	4.421	4.760
	a	2.391	2.113	3.051	2.563	3.079	3.069	2.255	2.503	2.333	2.553	2.189
	b	0,93	1,02	1,02	0,96	0,99	0,98	0,94	1,31	1,00	1,05	0,97
B-MP-GEV	u	5.952	6.187	6.197	6.164	6.071	5.863	6.389	6.799	5.954	5.929	5.984
	α	1.518	1.532	1.939	1.966	1.999	1.904	1.487	1.688	1.488	1.593	1.392
	k	-0,15	0,09	-0,04	0,07	-0,05	-0,10	-0,12	0,51	-0,09	-0,04	-0,12
B-MP-EXP	eta	4.620	4.978	4.603	4.604	4.422	4.248	5.117	5.425	4.703	4.616	4.787
	α	2.478	1.966	2.791	2.573	2.902	2.923	2.321	1.746	2.248	2.305	2.194

* Mesmo resultado utilizando os momentos biased (B) e unbiased (UB); ** O ajuste não convergiu.

As vazões estimadas pelo método da AFL apresentaram grande variação tendo diferença máxima de 265% dentre as vazões estimadas pela distribuição GEV (Tabela 4.7). O valor mínimo da $Q_{10.000}$ estimada foi de 10.057 m³/s para a série de 20 anos de dados (Série Conte – 2) e a máxima vazão estimada (36.693 m³/s) foi obtida utilizando a Série 1. A comparação entre as vazões estimadas com a máxima vazão naturalizada para a UHE

Sobradinho e a CMP demonstram que as $Q_{10.000}$ são menores do que a CMP para a maior parte das estimativas, com valores menores que um terço da CMP (10.057 m³/s para a Série Conte – 2). Em alguns casos, a $Q_{m\acute{a}x}$ também é maior do que a $Q_{10.000}$ estimada (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 - Vazões (m³/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pelo método AFL, diferença percentual máxima (DM) entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a $Q_{m\acute{a}x}$.

Séries	GEV	PIII	LN3	GLOG	EV1	GPARG	W	EXP	LOG	LN2	GAM	LPIII
Série 1	36.693	31.036	27.132	*	20.844	31.283	30.513	27.440	17.844	21.044	18.831	29.951
Série 2	15.752	24.013	21.975	*	18.497	23.190	23.380	23.087	15.731	17.285	15.900	23.352
Série 3	27.708	32.055	30.787	*	23.355	30.874	31.143	30.305	19.775	24.322	21.023	34.587
Série 4	19.727	30.911	27.410	*	22.492	30.682	30.262	28.303	18.630	22.475	19.545	29.986
Série 5	29.232	33.819	33.883	*	23.691	33.030	32.957	31.153	20.074	25.275	21.655	38.808
Série 6	34.741	34.341	36.073	*	23.130	33.749	33.512	31.172	20.040	25.216	21.648	42.322
Série 1 - Conte	30.823	29.735	*	*	19.755	29.897	29.228	26.496	17.620	19.726	18.154	***
Série 2 - Conte	10.057	19.453	25.284	*	17.459	16.825	18.576	21.507	15.327	16.086	15.007	27.413
Série 1 s_outlier	26.849	26.722	23.759	*	19.913	26.047	26.057	25.409	16.816	19.254	17.326	25.763
Série 1_vmin_20	24.060	26.207	21.505	33.244	21.419	24.885	25.400	25.844	17.050	20.478	17.861	22.883
Série 1_vmaj_20	29.947	27.037	*	*	18.935	26.788	26.474	24.994	16.598	18.585	17.000	30.360
DM	265%	77%	68%	0%	36%	101%	80%	45%	31%	57%	44%	85%
$N_{VALORES} < CMP^{**}$	10	11	8	1	11	11	11	11	11	11	11	8
$N_{VALORES} < Q_{m\acute{a}x}^{***}$	2	-	-	-	2	1	-	-	7	2	6	-

*O ajuste não convergiu; **Cheia Máxima Provável (CMP) = 36.300 m³/s; ***Vazão Máxima Naturalizada ($Q_{m\acute{a}x}$) = 18.530 m³/s no ano hidrológico 1978-1979.

Observando os valores estimados para as $Q_{10.000}$ pelo método AFL, recomenda-se atenção no uso de distribuições de probabilidade para a determinação de vazões de projeto. A distribuição estatística que produziu o menor EP foi a distribuição LOG (Tabela 4.5), no entanto, sete dos onze valores estimados para a $Q_{10.000}$ apresentam-se abaixo da $Q_{m\acute{a}x}$ (Tabela 4.7). Os resultados das vazões estimadas para as combinações de análise selecionadas encontram-se no Apêndice II.

As análises de estabilidade e sensibilidade dos métodos foram realizadas para todas as distribuições das combinações de análise selecionadas (Tabela 4.5). Os resultados são apresentados em termos das diferenças máximas percentuais entre as $Q_{10.000}$ estimadas (Tabela 4.8).

A distribuição que apresentou os piores valores quanto à estabilidade foi a GEV (B-MP-GEV). Para esta distribuição a diferença entre as vazões estimadas é de 121%. Esta distribuição apresenta os piores valores quanto a sensibilidade ao tamanho da amostra e a

presença de pontos atípicos (Tabela 4.8). Nota-se que a distribuição GEV é amplamente utilizada em estudos hidrológicos (MORRISON, 2002; QUEIROZ; CHAUDHRY, 2006; QUEIROZ, 2002; VILLARINI et al., 2011) e também foi selecionada para análise neste trabalho utilizando os diagramas das relações dos momentos L (L-MRD).

Tabela 4.8 - Diferença percentual máxima (*DM*) entre as vazões (m^3/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas pelo método AFL e para as diferentes análises, na UHE Sobradinho.

Análises	GEV	PIII	LN3	GLOG	EV1	GPAP	W	EXP	LOG	LN2	GAM	LPIII
Estabilidade do método	121%	43%	64%	*	28%	46%	43%	35%	28%	46%	36%	81%
Tamanho da amostra	265%	77%	64%	*	36%	101%	80%	45%	31%	57%	44%	81%
Presença de pontos atípicos	37%	16%	14%	*	5%	20%	17%	8%	6%	9%	9%	16%
Menores valores (menorados 20%)	12%	2%	10%	**	8%	5%	3%	2%	1%	6%	3%	13%
Menores valores (maiorados 20%)	12%	1%	0%	*	5%	3%	2%	2%	1%	4%	2%	18%

*O ajuste não convergiu; **Não foi possível a análise, pois apenas um valor foi estimado.

As diferenças apresentadas entre os valores estimados para a $Q_{10.000}$ demonstram a forte dependência da AFL da extensão da série, todas as distribuições tiveram diferenças maiores que 31%, sendo esta a análise que apresentou as maiores diferenças entre os valores estimados. Esses valores caracterizam uma maior insegurança no uso do método AFL.

A presença de pontos atípicos provoca um incremento de 5% a 37% nas $Q_{10.000}$ (Tabela 4.8). Para a distribuição GEV (B-MP-GEV) esse valor provoca a maior influência chegando a 37% de diferença. Para análise da UHE Sobradinho, Souza (2006) mostrou que as vazões ajustadas pelos métodos MP e MM-LH produziram os piores resultados com 47% de diferença e os métodos MM e MV apresentaram diferença de 27% e 31%, respectivamente.

A influência da presença de *outlier* tem promovido uma forte discussão entre hidrólogos, pois esses pontos podem caracterizar-se como eventos significativos na bacia ou serem desconsiderados para efeito de cálculo. A retirada destes pontos acarreta menores valores de projeto, mas deve-se ter bastante parcimônia ao tomar esta decisão, pois ela implica diretamente nos aspectos de segurança do dimensionamento de estruturas hidráulicas. Na UHE Sobradinho os três maiores picos de vazão ocorreram nos anos hidrológicos de 1948-1949 ($15.003 \text{ m}^3/s$), 1991-1992 ($16.895 \text{ m}^3/s$) e 1978-1979 ($18.525 \text{ m}^3/s$) com valores registrados bem próximos, sendo a $Q_{m\acute{a}x}$ de $18.525 \text{ m}^3/s$ considerada um *outlier* pelos testes de Grubbs e Beck (Quadro 4.1).

Quanto à análise da sensibilidade das distribuições aos menores valores das séries, que foram minorados e majorados em 20%, as distribuições GEV e LPIII apresentaram as maiores diferenças percentuais dentre as distribuições estudadas (Tabela 4.8). A sensibilidade dos métodos aos menores valores das séries mostrou-se com influência de até 18% no valor da estimativa das $Q_{10.000}$ (Tabela 4.8), destaca-se que essa avaliação foi realizada para as séries sem o valor do *outlier* (Série 1 s_outlier, Série 1_vmin_20, Série 1_vmaj_20).

Uma comparação entre as distribuições utilizadas para a faixa de dados entre 10 e 100 anos de T que possui vazões observadas comprova a insegurança na utilização destes métodos, através dos quais todos os valores estimados ficaram abaixo dos valores observados, chegando a valores subestimados em cerca de 35% (Figura 4.4).

Figura 4.4 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados na UHE Sobradinho pelo método da AFL utilizando as distribuições selecionadas e a estimativa pela Série 1.

As quinze (15) distribuições estatísticas foram utilizadas na análise. No entanto, para a apresentação dos resultados de forma mais detalhada será selecionada apenas uma delas. A escolha da distribuição com base no EP e nos testes de aderência não é viável, pois como se pode observar, por exemplo, as distribuições UB e B-MV-LOG, que apresentaram os menores valores de EP (Tabela 4.5), estimaram 7 dos 10 valores de $Q_{10.000}$ (Tabela 4.7) menores do que a $Q_{máx}$ naturalizada. Dentre as distribuições aceitas nos dois testes de aderência, a distribuição Gumbel (UB e B-MV-EV1) obteve o menor EP , no entanto utilizando a Série 2 e a Série 2 - Conte as estimativas da $Q_{10.000}$ foram menores que o valor máximo ($Q_{máx}$) da Série 1 (completa).

Para selecionar a distribuição para a qual os resultados serão apresentados de forma mais detalhada será realizada a escolha com base no diagrama das relações dos momentos ou MRD (“moment ratio diagrams”) e também o L-MRD a partir da avaliação dos valores dos coeficientes de assimetria e de curtose. Através da análise dos diagramas MRD Convencional

(Figura 4.5) e MRD (Figura 4.6) observa-se que os coeficientes de assimetria (CS) e os coeficientes de curtose (CK) das subséries não se encontram em nenhuma das regiões das distribuições. A distribuição que apresenta melhor aderência às subséries é a GPAR (Figura 4.5), porém, essa distribuição apresentou o maior EP dentre as distribuições selecionadas (Tabela 4.5), com erro de $7.261 \text{ m}^3/\text{s}$. Dentre as $Q_{10.000}$ estimadas pela GPAR apenas uma vazão estimada apresentou valor menor do que a $Q_{m\acute{a}x}$ (Tabela 4.7), esse valor ocorre justamente para a estimativa obtida utilizando a subsérie Série Conte – 2 ($Q_{10.000} = 15.753 \text{ m}^3/\text{s}$). A Série Conte – 2 apresenta os valores de CS e CK diferentes das demais subséries, corresponde ao ponto isolado com CS de 1,45 na Figura 4.6.

Figura 4.5 - Diagrama da relação dos momentos – (MRD Convencional) e os coeficientes estatísticos (CS^2 versus CK) das subséries (SITES) da UHE Sobradinho.

Figura 4.6 - Diagrama da relação dos momentos – (MRD) e os coeficientes estatísticos (CS versus CK) das subséries (SITES) da UHE Sobradinho.

No diagrama L-MRD (Figura 4.7), onde os momentos L são as funções lineares dos momentos com pesos probabilísticos (MP), as subséries possuem valores nas regiões das distribuições GLOG e GEV. A distribuição GLOG apresentou resultados apenas para o ajuste utilizando a Série1_vmin_20 para a combinação de análises selecionadas (UB e B-MV-GLOG). A distribuição GEV produziu o EP de 6.412 m³/s e três valores abaixo da $Q_{m\acute{a}x}$ (Tabela 4.5 e Tabela 4.7). Com base nas análises baseadas nos diagramas da relação dos momentos e momentos-L selecionamos as distribuições GPAR e GEV, como segundo critério foi adotado o menor EP , deste modo a distribuição selecionada é a GEV para uma análise mais detalhada do método AFL.

Figura 4.7 - Diagrama da relação dos momentos L – (L-MRD) e os coeficientes estatísticos (L-CS versus L-CK) das subséries (SITES) da UHE Sobradinho.

Souza (2006) realizou uma análise que evidencia a dependência das estimativas da AFL quanto ao método de estimação de parâmetros. As análises realizadas por Souza (2006) para a UHE Sobradinho para a influência da extensão da série de valores mostrou que as vazões ajustadas pelo método MP produziu o pior resultado, em termos das diferenças máximas (DM), dentre os quatro métodos de estimação de parâmetros MM, MM-LH, MV e MP, sendo as DM dentre as $Q_{10.000}$ estimadas de 25%, 28%, 43% e 201%, respectivamente. Utilizando a série de 1931 a 2001 sem o ano considerado *outlier* (1979) as vazões de projeto pelo método MM variam de 22.062 a 16.296 m³/s com diferença de 35%, de 23.329 a 15.379 m³/s pelo método MV apresentando diferença de 52% e 26.030 a 15.746 m³/s para o MP com diferença de 65% (SOUZA, 2006).

As análises propostas neste estudo têm o intuito de avaliar os métodos na determinação de vazões máximas, uma análise crítica da metodologia e uma comparação com os outros métodos será apresentada no Capítulo 5 - ANÁLISE CRÍTICA DOS MÉTODOS. Uma discussão mais aprofundada sobre o método AFL é realizada utilizando o ajuste da distribuição GEV.

4.2.1.1 Distribuição GEV

A distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV) é apresentada no Quadro 2.4 e os parâmetros de escala, forma e posição ajustados para UHE Sobradinho são apresentados na Tabela 4.9. As vazões foram estimadas pela distribuição GEV utilizando os métodos de estimação de parâmetros MV, MM e MP e pelos momentos B e UB.

Tabela 4.9 - Parâmetros da distribuição probabilística GEV ajustadas para UHE Sobradinho.

Parâmetros		Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Série 5	Série 6	Série 1 - Conte	Série 2 - Conte	Série 1 s_outlier	Série 1_vmin_20	Série 1_vmaj_20
UB e B-MV	u	5.935	6.032	6.066	5.982	5.923	*	*	*	5.921	5.909	*
	α	1.499	1.290	1.751	1.709	1.763	*	*	*	1.447	1.671	*
	k	-0,157	-0,113	-0,148	-0,108	-0,176	*	*	*	-0,115	-0,032	*
B-MM	u	5.879	6.002	6.033	5.933	5.897	5.723	6.298	6.359	5.880	5.830	5.926
	α	1.690	1.367	1.974	1.753	2.043	2.061	1.585	1.334	1.539	1.607	1.491
	k	-0,128	-0,102	-0,102	-0,119	-0,110	-0,114	-0,126	-0,031	-0,108	-0,094	-0,118
B-MP	u	5.952	6.187	6.197	6.164	6.071	5.863	6.389	6.799	5.954	5.929	5.984
	α	1.518	1.532	1.939	1.966	1.999	1.904	1.487	1.688	1.488	1.593	1.392
	k	-0,153	0,091	-0,039	0,066	-0,048	-0,101	-0,116	0,514	-0,086	-0,044	-0,124
UB-MM	u	5.872	5.990	6.016	5.918	5.879	5.705	6.289	6.335	5.873	5.823	5.919
	α	1.690	1.367	1.974	1.753	2.043	2.060	1.585	1.338	1.539	1.608	1.491
	k	-0,131	-0,109	-0,110	-0,126	-0,117	-0,121	-0,131	-0,047	-0,112	-0,097	-0,121
UB-MP	u	5.850	5.962	5.959	5.914	5.833	5.640	6.247	6.249	5.848	5.816	5.883
	α	1.326	1.188	1.553	1.621	1.616	1.517	1.211	1.093	1.304	1.415	1.202
	k	-0,272	-0,204	-0,263	-0,172	-0,262	-0,308	-0,295	-0,215	-0,216	-0,172	-0,257

*O ajuste não convergiu. u : parâmetro de posição; α : parâmetro de escala; k : parâmetro de forma.

As $Q_{10.000}$ estimadas pela distribuição GEV utilizando as subséries de análise são apresentadas na Tabela 7.8. Para o MV as estimativas são iguais para os momentos B e UB e não convergiram utilizando algumas das séries (Série 6, Série 1- Conte, Série 2 – Conte e Série 1_vmaj_20). Apenas pela combinação UB-MP-GEV todas as vazões estimadas superaram a CMP e a $Q_{m\acute{a}x}$ (Tabela 4.10).

A combinação de análise utilizada para as próximas análises será a B-MP-GEV, pelo critério do menor EP . Os resultados de vazões estimadas por essa combinação são apresentados para a Série 1 (Figura 4.8) e para todas as séries de análise (Figura 4.9). Na

curva de ajuste da distribuição B-MP-GEV utilizando a Série 1 é inserido o intervalo de confiança do ajuste podendo ser verificada a boa estimativa para os valores com T menores que 10 anos e aumentando a incerteza na estimativa para tempos de retorno acima deste valor (Figura 4.8). Para a $Q_{10.000}$ estimada a partir da Série 1 tem-se um erro padrão de 16.678 m³/s, sendo os limites do intervalo de confiança [20.015; 53.371] (Figura 4.8).

Tabela 4.10 - Vazões (m³/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pela distribuição GEV, diferença percentual máxima (DM) entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a $Q_{m\acute{a}x}$, na UHE Sobradinho.

Séries	B e UB-MV	B-MM	B-MP	UB-MM	UB-MP	DM
Série 1	36.909	35.555	36.693	36.106	60.755	71%
Série 2	26.889	26.922	15.752	27.726	38.212	143%
Série 3	40.554	36.261	27.708	37.424	66.474	140%
Série 4	32.946	35.261	19.727	36.370	42.349	115%
Série 5	46.505	38.506	29.232	39.751	68.622	135%
Série 6	*	39.219	34.741	40.493	84.792	144%
Série 1 - Conte	*	33.926	30.823	34.631	64.201	108%
Série 2 - Conte	*	20.578	10.057	21.722	37.938	277%
Série 1 s_outlier	29.608	30.190	26.849	30.658	43.985	64%
Série 1_vmin_20	23.848	29.344	24.060	29.802	37.792	58%
Série 1_vmaj_20	*	30.696	29.947	31.168	51.000	70%
DM	95%	91%	265%	86%	124%	
$N_{VALORES} < CMP^{**}$	4	8	10	6	-	
$N_{VALORES} < Q_{m\acute{a}x}^{***}$	-	-	2	-	-	
EP^{****}	8.948	18.717	6.412	20.982	21.822	

*O ajuste não convergiu; **Cheia Máxima Provável (CMP) = 36.300 m³/s; ***Vazão Máxima Naturalizada ($Q_{m\acute{a}x}$) = 18.530 m³/s no ano hidrológico 1978-1979; ****Erro padrão médio (EP) calculado pela média dos erros padrão para as vazões estimadas para os tempos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos.

Figura 4.8 - Vazões estimadas pela combinação B-MP-GEV ajustada utilizando a Série 1, para UHE Sobradinho.

Os valores estimados para a Série 1 e subséries analisadas apresentam valores discrepantes principalmente na região em que os valores são extrapolados. Para as subséries utilizadas na análise da estabilidade do método as $Q_{10.000}$ variaram de 14.600 m³/s a 27.595 m³/s, diferença de 89% (Tabela 4.8 e Figura 4.9). Todas as subséries da análise da estabilidade possuem pelo menos um dos três maiores valores da Série 1: 15.003 m³/s em 1948-1949; 16.895 m³/s em 1991-1992; e 18.525 m³/s em 1978-1979, valores observados para T de 26, 40 e 79 anos, respectivamente. A Série 2 possui apenas a terceira maior vazão observada, a Série 4 possui a $Q_{máx}$ observada e as Séries 3, 5 e 6 possuem dois destes maiores valores. Observa-se que a presença destes valores coincide com o crescimento das estimativas de vazão. Com isso pode-se verificar a forte dependência dos ajustes a presença dos valores mais significativos das séries e da combinação destes valores.

Figura 4.9 - Vazões estimadas (m³/s) pelo método da AFL utilizando a combinação B-MP-GEV, para as subséries utilizadas na análise da estabilidade do método, para UHE Sobradinho.

O método AFL mostra-se mais sensível ao tamanho da amostra com diferença de 178% entre os valores estimados para a $Q_{10.000}$ (Tabela 4.8). A sensibilidade do método quanto ao tamanho da amostra pode ser observada na Figura 4.10 comparando as curvas da distribuição GEV para a Série 2 – Conte (20 anos de dados) com a Série 1 (79 anos de dados). Merece atenção o fato de a Série 2 – Conte não apresentar nenhum dos três maiores eventos ocorridos. Apenas a Série 1 contém os três maiores valores, e observa-se que a Série 1 – Conte com 58 anos de dados estimou valores menores que a Série 6 com 40 anos de dados.

Isso ocorre devido a Série 6 conter as duas maiores vazões observadas e a Série 1 – Conte conter a primeira e a terceira maiores vazões observadas. A análise da estabilidade e da sensibilidade ao tamanho da amostra leva a refletir que as características das séries em estudo merecem maior importância. É necessária uma análise do comportamento da série e da presença de eventos significativos e não apenas avaliar a sua extensão.

Figura 4.10 - Vazões estimadas pelo método da AFL utilizando a combinação B-MP-GEV, para as subséries utilizadas na análise da sensibilidade ao tamanho da amostra, para UHE Sobradinho.

A combinação B-MP-GEV apresentou diferença de 27% entre os valores de $Q_{10.000}$ estimados para a série sem e com o ponto considerado atípico (Tabela 4.8 e Figura 4.11). Desconsiderar o ponto identificado pelos testes como *outlier* é uma decisão que envolve grande insegurança. Principalmente pela vazão de 18.525 m³/s, considerada atípica, ter valor próximo a outras vazões observadas neste local de estudo, sendo apenas 1.630 m³/s menor do que o segundo maior pico registrado de 16.895 m³/s. A presença de valores significativos, os maiores valores da série, tem grande influência na estimativa quando o método AFL é utilizado. A retirada ou não deste valor deve ser investigada através de um comparativo com as vazões observadas em outros pontos (estações fluviométricas, UHE's) pertencentes à região de estudo e confrontando os valores e séries de vazões diárias. A decisão de considerar um evento extraordinário ou verificar a credibilidade da medição não é fácil e ainda gera discussões no meio científico (KOTTEGODA, 1984; NG; PANU; LENNOX, 2007).

Em uma análise preliminar pode-se afirmar que a variação das vazões estimadas quanto a sensibilidade aos menores valores não apresentou grandes diferenças (Tabela 4.8 e Figura 4.11). No entanto existe a influência dos três menores valores na cauda superior da curva, e como a majoração e minoração foram em 20% destes três valores, a diferença de 8% nas $Q_{10.000}$ mostra-se expressiva. Os estudos realizados por outros autores para análise da influência dos três menores valores (GARCIA, 1996a; SOUZA, 2006; KLEMES¹⁹, 1986 apud GARCIA, 1996a) também resultaram em alterações de mesma ordem de grandeza nas vazões estimadas. As vazões estimadas utilizando a Série 1 e as subséries resultaram valores abaixo dos observados na maioria dos casos (Figura 4.12). A maior variação ocorreu utilizando a Série 2 – Conte e chegou a 47% a menos do que a vazão observada.

Figura 4.11 - Vazões estimadas pelo método da AFL utilizando a combinação B-MP-GEV, para as subséries utilizadas na análise da sensibilidade a presença de *outlier* e da influência dos menores valores, para UHE Sobradinho.

Assim, de modo geral, pode-se dizer que a utilização dos métodos estatísticos produziu resultados divergentes e dependentes de todos os fatores analisados. A análise da aplicação da distribuição GEV evidenciou ainda mais essa dependência, no entanto, as demais distribuições também apresentaram comportamento semelhante, com proporções diferentes, como pode ser observado nas curvas ajustadas apresentadas no Apêndice II.

¹⁹ KLEMES, V. Dilettantism in Hydrology: Transition or Destiny?., Water Resources Research, 22, 9, 1986.

Figura 4.12 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados na UHE Sobradinho pelo método da AFL utilizando a combinação B-MP-GEV.

4.2.2 AFC

Nesta seção são apresentados os resultados para a análise das séries da UHE Sobradinho utilizando o método AFC. Os parâmetros u e k (Equação 2.3) foram calculados através dos métodos de estimação dos Mínimos Quadrados (MQ), Método dos Momentos (MM) e da Máxima Verossimilhança (MV) (Tabela 4.11). Na aplicação da AFC o valor da CMP de 36.300 m³/s é utilizado como limite superior para a distribuição. Para determinação do ponto de plotagem foi utilizada a fórmula de Weibull (Quadro 2.2), pelo fato do software MC utilizado não possibilitar o uso da fórmula Califórnia(Quadro 2.2) aplicada aos métodos AFL e HMMP.

Tabela 4.11 - Parâmetros do método da AFC para a Série 1 e subséries de vazões diárias máximas anuais (m³/s) da UHE Sobradinho.

Método de Estimação dos Parâmetros	Mínimos Quadrados (MQ)		Método dos Momentos (MM)		Máxima Verossimilhança (MV)	
	k	u (m ³ /s)	k	u (m ³ /s)	k	u (m ³ /s)
Série 1	10,61	5.675	13,57	5.954	17,83	6.126
Série 2	14,09	5.872	17,98	6.055	21,73	6.150
Série 3	9,03	5.790	11,85	6.116	15,23	6.287
Série 4	9,83	5.678	13,15	6.004	16,18	6.156
Série 5	8,45	5.613	11,27	5.986	14,79	6.181
Série 6	8,32	5.424	11,16	5.814	15,08	6.023
Série Conte 1	11,11	6.100	14,37	6.365	19,41	6.527
Série 2 - Conte	15,79	6.249	20,46	6.389	24,15	6.441
Série 1 s_outlier	12,80	5.757	15,71	5.945	19,30	6.061
Série 1_vmin_20	12,68	5.716	15,41	5.897	17,64	5.994
Série 1_vmaj_20	12,87	5.792	15,95	5.990	20,59	6.118

Conforme esperado, as vazões estimadas pelo método AFC apresentaram todos os valores inferiores à CMP (Tabela 4.12). A AFC ajustada pelo método de estimação de parâmetros MV apresenta a menor diferença máxima entre os valores decamilenares estimados, contudo, em contrapartida, todos os valores estimados são inferiores a $Q_{m\acute{a}x}$ (Tabela 4.12). Pelos métodos de estimação MQ e MM alguns valores decamilenares estimados também são menores que a $Q_{m\acute{a}x}$. Observa-se inclusive variação do valor estimado de acordo com o método de estimação dos parâmetros. A diferença máxima entre estes valores é de 31% e ocorre para as $Q_{10.000}$ estimadas utilizando a Série 6 (Tabela 4.12). As curvas ajustadas para o AFC são apresentadas na Figura 8.10 (Apêndice III) para os três métodos de estimação de parâmetros MQ, MM e MV.

Tabela 4.12 - Vazões (m^3/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pelo método AFC, diferença percentual máxima (DM) entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a $Q_{m\acute{a}x}$, para UHE Sobradinho.

Séries	Método AFC			DM entre os métodos MQ, MM e MV
	MQ	MM	MV	
Série 1	23.440	20.906	18.301	28%
Série 2	20.474	18.181	16.568	24%
Série 3	25.296	22.429	19.905	27%
Série 4	24.305	21.263	19.239	26%
Série 5	25.976	22.909	20.145	29%
Série 6	26.087	22.943	19.864	31%
Série 1 - Conte	23.116	20.533	17.776	30%
Série 2 - Conte	19.531	17.231	15.908	23%
Série 1 s_outlier	21.424	19.412	17.537	22%
Série 1_vmin_20	21.504	19.573	18.319	17%
Série 1_vmaj_20	21.385	19.288	17.004	26%
DM	34%	33%	27%	
$N_{VALORES} < CMP^*$	11	11	11	
$N_{VALORES} < Q_{m\acute{a}x}^{**}$	-	2	7	

*Cheia Máxima Provável (CMP) = 36.300 m^3/s ; **Vazão Máxima Naturalizada ($Q_{m\acute{a}x}$) = 18.530 m^3/s no ano hidrológico 1978-1979.

A análise da estabilidade e sensibilidade do método AFC apresentou os piores resultados quanto à influência do tamanho da amostra chegando à diferença máxima de 35% pelo método MQ (Tabela 4.13). A estabilidade do método também apresentou grande variação entre os valores estimados chegando a 27% de diferença (Tabela 4.13). Quanto a presença de pontos atípicos o comportamento deste método apresentou respostas mais interessantes do que o AFL do ponto de vista da segurança. Os valores variaram em 10%, 8% e 4% pelos métodos MQ, MM e MV, respectivamente (Tabela 4.13). A maior variação em

valores de vazão foi de 1.832 m³/s, sendo esta variação de 10% pelo método MQ não considerada significativa.

Quanto à sensibilidade do método AFC aos menores valores a influência destas vazões mostrou-se pouco expressiva (Tabela 4.13). Nota-se que o MV apresenta os piores resultados para a sensibilidade aos menores valores, em relação aos demais métodos de estimação de parâmetros, enquanto para as outras análises o MV apresentou os melhores resultados. Isso nos permite concluir que o MV tem maior dependência dos menores valores da série e o MQ não sofreu nenhuma diferença significativa, ou seja, não possui nenhuma ou quase nenhuma influência dos menores valores da série (Tabela 4.13).

Tabela 4.13 - Diferença percentual máxima (*DM*) entre as vazões decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas pelo método AFC e para as diferentes análises, para UHE Sobradinho.

Análises	MQ	MM	MV
Estabilidade do método	27%	26%	22%
Tamanho da amostra	34%	33%	27%
Presença de pontos atípicos	9%	8%	4%
Menores valores (minorados 20%)	0%	1%	4%
Menores valores (majorados 20%)	0%	1%	3%

As análises realizadas por Souza (2006) para o método AFC para UHE Sobradinho também apresentaram maior diferença para análise da influência da extensão da série de valores com diferença máxima de 9%. Ressalta-se aqui que no estudo de Souza (2006) foram utilizadas as subséries com a retirada do valor considerado *outlier*, e apenas o método MV foi utilizado. Garcia (1996a) também constatou uma diferença máxima na influência da extensão da série sendo de 11,2% para a série de vazões do Aproveitamento Múltiplo Jequitaí, localizado no rio Jequitaí, as subséries utilizadas nesta análise também desconsideraram o valor do *outlier*. Para os locais de estudos, a sensibilidade à presença de *outlier* apresentou diferenças máximas de 11% para o estudo realizado por Garcia (1996a) e 4% para os estudos realizados Souza (2006), e para os menores valores foram de 3% para Garcia (1996a) e 4% para Souza (2006).

Para avaliação dos resultados encontrados pelas análises utilizando o MQ, MM e MV foi considerado o valor da Raiz do Erro Quadrático Médio (*RMSE*) entre as vazões estimadas e as vazões observadas, para os dados com T maior ou igual a 10 anos (Tabela 4.14). O método MQ produziu o menor valor para a *RMSE*, portanto, as estimativas para este método serão avaliadas e apresentadas de forma mais detalhada buscando uma compreensão mais aprofundada. Utilizando o método MQ foi avaliada, além da estabilidade e sensibilidade ao

tamanho da amostra, a presença de *outlier* e a influência dos menores valores, também sensibilidade a influência do valor da CMP adotada.

Tabela 4.14 - Raiz do Erro Quadrático Médio (*RMSE**), em m³/s, das vazões estimadas pelo método AFC, para UHE Sobradinho.

Séries	MQ	MM	MV
Série 1	1.415	2.280	3.342
Série 2	2.495	3.424	4.068
Série 3	1.450	1.653	2.589
Série 4	1.292	2.115	2.924
Série 5	1.626	1.527	2.525
Série 6	1.599	1.537	2.705
Série 1 - Conte	1.466	2.301	3.390
Série 2 - Conte	2.762	3.679	4.201
Série 1 s_outlier	2.123	2.934	3.699
Série 1_vmin_20	2.101	2.882	3.391
Série 1_vmaj_20	2.129	2.970	3.899
Média	1.860	2.482	3.339
Soma total	20.459	27.302	36.733

*Valores dos desvios calculados para as vazões com T maior ou igual a 10 anos.

4.2.2.1 Método AFC ajustado pelo MQ

A análise da estabilidade do método AFC ajustado pelo método MQ apresentou uma diferença significativa, sendo de 29% a *DM* para as $Q_{10.000}$. Pode-se observar pelas curvas da distribuição da AFC que as maiores diferenças ocorrem entre as vazões estimadas utilizando as Série 2 e Série 6 (Figura 4.13). Assim como observado para a AFL, as variações das estimativas para as diferentes subséries parecem depender da presença das maiores vazões nas subséries estudadas. A Série 2 que apresenta as estimativas mais discrepantes das outras subséries possui como máxima vazão a terceira maior vazão registrada na UHE Sobradinho (Série 1). A proximidade das estimativas para as Séries 5 e 6 deve-se ao fato de apenas estas subséries possuírem as duas maiores vazões já registradas (Figura 4.13) e possuírem características estatísticas muito semelhantes (Tabela 4.4).

Como para a análise da estabilidade, a sensibilidade da amostra ao tamanho da série indica que a variação na estimativa do valor está ligada também à presença de eventos mais significativos, considerados os eventos registrados na bacia com tempo de retorno (T) maior do que 10 anos (Figura 4.14). No entanto, o tamanho da amostra no método AFC também é importante, esse comportamento não é verificado no método AFL. A Série 1 que possui a maior extensão (79 anos de dados) possui estimativas semelhantes a segunda maior subsérie, Série 1 - Conte com 58 anos de dados. Mesmo a Série 1 possuindo os três maiores valores registrados no local de estudo não apresenta valores maiores do que as demais subséries, que

apresentam dois ou menos desses valores. Neste caso, observa-se que o tamanho da série tem influência sobre a estimativa e não só a presença destes valores máximos. Um número menor de dados e a presença dos eventos mais significativos tende a majorar as vazões (Série 5 e 6).

Outra constatação é de que as Série 2 e Série 2 – Conte possuem estimativas semelhantes contendo 40 anos e 20 anos de dados, respectivamente, e tendo a Série 2 o registro do terceiro maior evento do local e a Série 2 - Conte não apresentado nenhum dos três maiores valores (Figura 4.14). A influência do tamanho da amostra merece atenção, pois séries com poucos dados podem não ter registro de eventos significativos para a bacia e estimar valores abaixo do esperado, inclusive para tempos de retorno entre 10 e 20 anos.

A presença do *outlier* acarretou em um estimativa 10% menor na $Q_{10.000}$ em relação a estimativa utilizando a Série 1 (Figura 4.15). Essa variação não é significativa no caso da determinação de vazões de projeto e incluir o valor do ponto considerado atípico traria maior segurança sem um aumento expressivo nos valores das vazões. Nas curvas de distribuição pelo método AFC apresentadas na Figura 4.15 é fácil identificar que o método AFC para extrapolação da curva não tem boa proximidade com os maiores valores observados, subestimando os valores no intervalo de dados com T maior que 20 anos de dados. A escassez de dados nas faixas de valores com tempos de recorrência maiores também apresenta problemas na estimativa por esse método.

Figura 4.13 - Vazões estimadas pelo método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MQ, para as subséries utilizadas na análise da estabilidade do método, para UHE Sobradinho.

Figura 4.14 - Vazões estimadas pelo método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MQ, na análise da sensibilidade ao tamanho da amostra, para UHE Sobradinho.

Figura 4.15 - Vazões estimadas pelo método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MQ, para análise da sensibilidade a presença de outlier e da influência dos menores valores, para UHE Sobradinho.

A análise da sensibilidade a presença dos menores valores não acarretou em nenhuma mudança nos valores estimados, tendo as estimativas ajustadas pelas séries, resultado em valores muito próximos (Figura 4.15). Como já observados nas curvas de distribuição pelo

método AFC as subséries que apresentaram todos os valores estimados abaixo dos observados foram as Série 2 e Série 2 – Conte. A Série 1_vmaj_20 apresenta também praticamente todos os valores abaixo dos observados, com a vazão com T de 10 anos maior do que a observada e para os demais T as vazões foram estimadas abaixo dos valores observados. A variação das estimativas em relação aos valores observados pode ser apreciada na Figura 4.16.

Figura 4.16 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados pelo método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MQ, para UHE Sobradinho.

Para o método AFC a análise da sensibilidade em relação à CMP também foi realizada no intuito de avaliar a dependência das estimativas de valores extremos. O valor da CMP foi majorado e minorado em 20%. Os valores dos parâmetros, das $Q_{10.000}$ e das DM são analisados para a Série 1 e para a Série 1 s_outlier e observa-se uma variação muito semelhante entre as $Q_{10.000}$, de 8% e 7% respectivamente (Tabela 4.15). No Apêndice III os valores das vazões são estimados para diversos T (Tabela 8.5) e a maior variação observada em relação a série com CMP original foi de -5% para a $Q_{10.000}$ utilizando a CMP minorada (Tabela 8.6). A influência do valor da CMP fica mais evidente a partir de T maior que 200 anos (Figura 4.17). Quanto à variação da CMP a cauda superior da distribuição mostrou-se mais sensível, no entanto uma variação de 20% na CMP, tanto para baixo como para cima não provocou uma alteração de mesma proporção nas vazões estimadas, sendo a máxima de -5% para a CMP minorada e de 3% para a CMP majorada (Tabela 8.6 no Apêndice III).

Os resultados para a análise da sensibilidade dos valores extremos em relação à CMP são semelhantes aos encontrados por Souza (2006) para a UHE Sobradinho. Para a análise realizada por Garcia (1996a) essa variação se apresenta ainda menor para o estudo de caso do rio Jequitai com variação máxima de -2,3% para a CMP minorada em 20%. Os estudos realizados por Souza (2006) e Garcia (1996a) avaliaram a minoração e majoração da CMP em

10% e 20%, e para a variação de 10% da CMP as estimativas variam em até 2%. Reforça-se assim que variações na CMP não influenciam significativamente nos valores estimados.

Tabela 4.15 - Parâmetros do método da AFC pelo MQ para a Série 1 e Série 1 s_outlier, $Q_{10.000}$ e DM entre as vazões inferidas, para UHE Sobradinho.

CMP		-20%	original	+20%	-20%	original	+20%
		29.040	36.300	43.560	29.040	36.300	43.560
Série		Série 1			Série 1_s_outlier		
Parâmetros	k	7,39	10,61	13,78	9,12	12,80	16,44
	u (m³/s)	5.600	5.675	5.708	5.718	5.757	5.775
	$Q_{10.000}$	22.302	23.440	24.161	20.545	21.424	21.984
	DM	8%			7%		

Figura 4.17 - Método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MQ, análise da sensibilidade a CMP, para UHE Sobradinho.

4.2.3 HMMP

As Série 1 e subséries foram estudadas utilizando o método do HMMP aplicadas aos ajustes da distribuição exponencial simples (d.e.s.) e da regressão linear simples (r.l.s.), pelas quais foram determinados os parâmetros Q_B e G_O (Tabela 4.16), sendo Q_B a vazão de base (m³/s) do hidrograma com duração característica T_B e G_O uma constante a ser determinada (m³/s), que representa o desvio padrão da amostra de dados de volumes excedentes. O método foi avaliado quanto a estabilidade, a sensibilidade ao tamanho da amostra, a influência da presença de pontos atípicos e a influência dos menores valores. Para o método do HMMP foi

realizada uma comparação entre as vazões estimadas utilizando a d.e.s. e a r.l.s. e uma análise da sensibilidade dos métodos aos valores de tempo de base (TB).

Tabela 4.16 - Parâmetros do método do HMMP para a Série 1 e subséries de vazões diárias máximas anuais (m^3/s) da UHE Sobradinho.

HMMP		Distribuição Exponencial Simples (d.e.s.)		Regressão Linear Simples (r.l.s.)	
Séries	Tempos de base	Q_B (m^3/s)	G_O (m^3/s)	Q_B (m^3/s)	G_O (m^3/s)
Série 1	$TB1$	2.830	1.274	3.022	1.304
	$TB2$	2.780	1.231	2.799	1.262
	$TB3$	2.743	1.190	2.759	1.222
Série 2	$TB1$	3.008	1.245	3.047	1.296
	$TB2$	2.980	1.193	3.011	1.249
	$TB3$	2.946	1.148	2.971	1.206
Série 3	$TB1$	2.953	1.454	3.009	1.501
	$TB2$	2.916	1.398	2.966	1.448
	$TB3$	2.881	1.349	2.927	1.399
Série 4	$TB1$	2.798	1.336	2.843	1.387
	$TB2$	2.760	1.283	2.802	1.333
	$TB3$	2.728	1.237	2.767	1.287
Série 5	$TB1$	2.654	1.375	2.698	1.430
	$TB2$	2.605	1.324	2.645	1.380
	$TB3$	2.590	1.269	2.624	1.327
Série 6	$TB1$	2.505	1.398	2.539	1.465
	$TB2$	2.460	1.346	2.489	1.415
	$TB3$	2.439	1.297	2.464	1.367
Série 1 - Conte	$TB1$	3.038	1.303	2.999	1.343
	$TB2$	*	*	*	*
	$TB3$	*	*	*	*
Série 2 - Conte	$TB1$	3.246	1.275	3.177	1.354
	$TB2$	*	*	*	*
	$TB3$	*	*	*	*
Série 1 s_outlier	$TB1$	2.848	1.210	2.872	1.235
	$TB2$	2.797	1.170	2.818	1.197
	$TB3$	2.758	1.133	2.777	1.161
Série 1_ vmin_20	$TB1$	2.848	1.210	2.872	1.235
	$TB2$	2.797	1.170	2.818	1.197
	$TB3$	2.758	1.133	2.777	1.161
Série 1_ vmaj_20	$TB1$	2.848	1.209	2.872	1.235
	$TB2$	2.797	1.170	2.819	1.197
	$TB3$	2.759	1.133	2.777	1.161

* Valores das séries com $TB2$ e $TB3$ não disponíveis. TB : tempo de base com valores $TB1=180$ dias, $TB2=190$ dias e $TB3=200$ dias.

As $Q_{10.000}$ estimadas pelo HMMP apresentaram diferença máxima de 31% de variação considerando todas as séries e métodos utilizados para estimativa da $Q_{10.000}$. No entanto, observa-se que considerando apenas as estimativas para o método da r.l.s. com $TB1$ essa diferença máxima já diminui para 21% e esta é a maior diferença entre os procedimentos

estudados na análise do HMMP (Figura 4.17). O método HMMP está a favor da segurança, pois não apresenta nenhuma das estimativas para a $Q_{10.000}$ abaixo do valor da $Q_{m\acute{a}x}$ e da CMP (Figura 4.17). Os valores estimados, no entanto, podem tornar onerosas as obras dimensionadas a partir destas vazões de projeto, pois estimam valores de pico de vazão máxima diária 15% acima da CMP chegando a valores 51% maiores. As vazões estimadas para diversos T pelo método HMMP são apresentadas na Tabela 8.10 (Apêndice IV).

Tabela 4.17 - Vazões (m³/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pelo método do HMMP, DM entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a $Q_{m\acute{a}x}$, para UHE Sobradinho.

Séries	d.e.s.			r.l.s.		
	$TB1^*$	$TB2^*$	$TB3^*$	$TB1^*$	$TB2^*$	$TB3^*$
Série 1	46.777	45.244	43.793	48.004	46.332	44.912
Série 2	45.955	44.133	42.547	47.753	46.096	44.573
Série 3	53.097	51.144	49.400	54.787	52.912	51.186
Série 4	48.873	47.030	45.388	50.677	48.792	47.155
Série 5	50.092	48.275	46.375	52.013	50.232	48.403
Série 6	50.725	48.903	47.172	53.075	51.290	49.626
Série 1 - Conte	47.972	**	**	49.327	**	**
Série 2 - Conte	47.215	**	**	49.874	**	**
Série 1 s_outlier	44.571	43.168	41.832	45.460	44.099	42.812
Série 1_vmin_20	44.577	43.174	41.834	45.463	44.102	42.816
Série 1_vmaj_20	44.566	43.163	41.829	45.457	44.096	42.812
DM	19%	18%	18%	21%	20%	20%
$N_{VALORES} < CMP^{***}$	-	-	-	-	-	-
$N_{VALORES} < Q_{m\acute{a}x}^{****}$	-	-	-	-	-	-

*TB: tempo de base com valores $TB1=180$ dias, $TB2=190$ dias e $TB3=200$ dias; **Série de valores não disponíveis para $TB2$ e $TB3$; ***Cheia Máxima Provável (CMP) = 36.300 m³/s; ****Vazão Máxima Naturalizada ($Q_{m\acute{a}x}$)= 18.530 m³/s no ano hidrológico 1978-1979.

Ao analisarmos o método do HMMP para a estabilidade observa-se que consiste de um método estável inclusive comparando as variações entre as diferentes formas de ajustes e TBs e para todas as análises (Tabela 4.18). A estabilidade do método quanto à utilização de subséries da Série 1, com características distintas (Tabela 4.4 e no Apêndice I a Tabela 8.1), apresentou DM de 16% (Tabela 4.18). Em relação ao tamanho da amostra o método também se apresenta estável mostrando a sensibilidade a este fator com DM de 16% (Tabela 4.18).

Tabela 4.18 - Diferença percentual máxima (DM) entre as vazões decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas pelo método do HMMP e para as diferentes análises, para UHE Sobradinho.

Análises	d.e.s.			r.l.s.		
	$TB1$	$TB2$	$TB3$	$TB1$	$TB2$	$TB3$
Estabilidade do método	16%	16%	16%	15%	15%	15%
Tamanho da amostra	16%	16%	16%	15%	15%	15%
Presença de pontos atípicos	5%	5%	5%	6%	5%	5%
Menores valores (minorados 20%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Menores valores (majorados 20%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%

A presença de pontos considerados atípicos influenciou de forma pouco significativa as $Q_{10.000}$ estimadas, chegando apenas a minorar em 6% os valores estimados utilizando a Série 1 s_outlier em relação a Série 1 (Tabela 4.18). Não ocorreu variação significativa para a análise da sensibilidade do método quanto a presença dos menores valores (Tabela 4.18).

O fato das análises das presenças de valores atípicos e dos menores valores não influenciarem de forma representativa as vazões estimadas deve-se ao próprio procedimento de aplicação do método que não utiliza a série de vazões diárias máximas. Para o ajuste dos parâmetros da equação da vazão de picos (Equação 3.4) são utilizadas as séries de vazões máximas anuais médias de duração igual à base do hidrograma TB . Isso implica que os ajustes feitos por essas médias sofrem menor influência dos valores diários, *outliers* e os três menores valores, possuindo assim menor relevância na estimativa das vazões.

Figura 4.18 - Método do HMMP utilizando os ajustes d.e.s. e a r.l.s. para a Série 1 e para os $TB1$, $TB2$ e $TB3$, para UHE Sobradinho.

Para a análise dos parâmetros estimados utilizando a Série 1 e comparando os métodos da d.e.s. e r.l.s., as vazões estimadas para os diversos tempos de retorno (1, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1.000, 2.000, 5.000 e 10.000 anos) apresentaram valores de 1% a 6% maiores para a d.e.s. em relação aos estimados pela r.l.s.. Para as $Q_{10.000}$ essas variações são de 3% para $TB1$, 2% para $TB2$ e 2% para $TB3$ (Tabela 8.11 no Apêndice IV e Figura 4.18).

Os TBs adotados para UHE Sobradinho através da observação dos hidrogramas dos três maiores picos de vazão diária foram $TB1 = 180$ dias, $TB2 = 190$ dias e $TB3 = 200$ dias. Vê-se que um acréscimo de 10 dias (7%) de $TB2$ em relação à $TB1$ implica na diminuição de

3% (d.e.s.) e 4% (r.l.s.) na $Q_{10.000}$. E o acréscimo de 20 dias (11%), considerando os tempos de base $TB1$ e $TB3$ foi de 7% na $Q_{10.000}$ tanto pela d.e.s. quanto pela r.l.s. Na Figura 4.18 pode-se observar que para TB maiores as estimativas são menores. Ou seja, as vazões estimadas crescem de forma inversamente proporcional ao aumento do valor do TB adotado, essa análise também foi realizada por Conte (2012) (Tabela 4.19). Observa-se assim a forte influência do valor de TB adotado nas vazões estimadas pelo método HMMP.

Figura 4.19 - Vazões médias estimadas para diversas durações de TB para a UHE Sobradinho, utilizando a Série 1 - Conte (CONTE, 2012).

Para identificar a combinação de análise que apresentou o melhor resultado foi obtida a $RMSE$. A combinação que apresentou o melhor resultado foi a d.e.s. para o $TB3$, com o menor valor da $RMSE$ (Tabela 4.19). Esse resultado indica que a d.e.s. com $TB3$ apresentou valores estimados mais próximos dos valores observados para T maior que 10 anos.

Tabela 4.19 - Raiz do Erro Quadrático Médio ($RMSE^*$), em m^3/s , das vazões estimadas pelo método HMMP, para UHE Sobradinho.

Séries	d.e.s.			r.l.s.		
	$TB1^{**}$	$TB2^{**}$	$TB3^{**}$	$TB1^{**}$	$TB2^{**}$	$TB3^{**}$
Série 1	3,785	3,241	2,735	4,320	3,616	3,117
Série 2	3,626	3,002	2,457	4,253	3,675	3,142
Série 3	5,985	5,305	4,696	6,591	5,932	5,326
Série 4	4,465	3,823	3,254	5,100	4,441	3,870
Série 5	4,781	4,140	3,494	5,455	4,822	4,194
Série 6	4,897	4,256	3,663	5,710	5,077	4,501
Série 1 - Conte	4,320	***	***	4,749	***	***
Série 2 - Conte	4,203	***	***	5,048	***	***
Série 1 s_outlier	3,062	2,564	2,101	3,373	2,886	2,434
Série 1_vmin_20	3,063	2,566	2,102	3,374	2,886	2,435
Série 1_vmaj_20	3,060	2,562	2,100	3,372	2,885	2,434
Média	4,113	2,860	2,418	4,668	3,293	2,859
Soma	45,246	31,459	26,602	51,344	36,220	31,452

* Valores dos desvios calculados para as vazões com tempo de retorno (T) maior ou igual a 10 anos; ** TB : tempo de base com valores $TB1=180$ dias, $TB2=190$ dias e $TB3=200$ dias; ***Série de valores não disponíveis para $TB2$ e $TB3$.

O método HMMP propõe também a obtenção do hidrograma de projeto e não somente a vazão máxima de projeto. Serão apresentados de forma mais detalhada os resultados dos procedimentos para obtenção das vazões e hidrograma de projeto pelo método do HMMP para combinação d.e.s. e *TB3*.

4.2.3.1 Método do HMMP ajustado pela d.e.s. para *TB3*

Os resultados para aplicação do HMMP ajustados utilizando a d.e.s. para o *TB3* serão apresentados a fim de detalhar os procedimentos e resultados de cada etapa metodológica. As séries de dados utilizados foram as séries de vazões médias diárias naturalizadas obtidas na ONS (2012). A partir dessas séries foram obtidas as séries de vazões máximas diárias anuais que constituem a Série 1 e as subséries (Tabela 8.1 no Apêndice I). Os resultados de forma detalhada serão apresentados apenas para a Série 1, plotada na Figura 4.2. As características estatísticas desta série são apresentadas na Tabela 4.1.

As três maiores vazões observadas na UHE Sobradinho foram selecionadas e os hidrogramas referentes ao ano de ocorrência de cada vazão foi plotado (Figura 4.20). As maiores vazões registradas ocorreram nos anos hidrológicos de 1978-1979 com 18.525 m³/s, 1991-1992 com 16.895 m³/s e 1948-1949 com 15.003 m³/s (Figura 4.20). A Q_{MLT} foi utilizada como referência para a estimativa do tempo de base, a partir da análise do período em que os hidrogramas se mantêm acima da Q_{MLT} . A Q_{MLT} é determinada pela média das vazões diárias para toda a série histórica, sendo definida para UHE Sobradinho em 2.656 m³/s.

Figura 4.20 - Hidrogramas dos anos hidrológicos de 1978-1979, 1991-1992 e 1948-1949 e vazão máxima de longo termo (Q_{MLT}) na UHE Sobradinho.

Foram selecionados três tempos de base a partir da avaliação dos hidrogramas, como exemplo, na Figura 4.21, são apresentadas as indicações do intervalo de definição do *TB3*, obtido a partir da análise do hidrograma do ano hidrológico de 1979-1978. Os valores

definidos para os tempos de base foram $TB1$ de 180 dias, $TB2$ de 190 dias e $TB3$ de 200 dias, definidos pela observação dos hidrogramas dos anos hidrológicos, 1991-1992, 1948-1949 e 1978-1979, respectivamente. Para a definição dos TBs foram observados os números de dias dos anos hidrológicos com valores de vazão acima da Q_{MLT} . Conte (2012) adota um tempo de base de 180 dias para UHE Sobradinho.

Figura 4.21 - Hidrograma do ano hidrológico de 1978-1979, vazão média de longo termo (Q_{MLT}) e determinação do $TB3$ na UHE Sobradinho.

Com os valores dos TBs definidos foram calculadas as médias móveis e obtidas as séries de vazões com tempo TB . As séries de vazões médias máximas anuais com intervalos de tempo TBs foram ordenadas. Com as séries ordenadas de forma decrescente, os tempos de retorno (T) empíricos foram calculados utilizando a fórmula Califórnia (Quadro 2.2). As séries diárias e com intervalos de tempo TB são apresentadas na Tabela 8.9 (Apêndice IV), bem como, os respectivos tempos de retorno (T).

Os parâmetros das equações de ajuste d.e.s. e r.l.s. foram determinados para as séries com tempo de base $TB1$, $TB2$ e $TB3$, para a Série 1 e subséries (Figura 4.22). Os valores dos parâmetros Q_B e G_0 são apresentados na Tabela 4.16, vemos que para a Série 1 utilizando $TB3$ os valores estimados foram pela d.e.s. Q_B de 2.743 m³/s e G_0 de 1.190 m³/s. Pela análise da $RMSE$ nota-se que o ajuste pela d.e.s. utilizando $TB3$ apresentou o melhor resultado em relação às vazões observadas com T maior que 10 anos. A reta ajustada em papel logarítmico pela d.e.s. e $TB3$ apresenta valores mais próximos das vazões observadas e verifica-se que as vazões estimadas para T maiores que 10 anos sempre superestimam estes valores, fazendo com que o método seja considerado a favor da segurança (Figura 4.22).

Como recomendado pelo método HMMP, as vazões de projeto estimadas para períodos de retorno entre 1 e 10 anos pelo método HMMP devem ser comparadas com ajustes de distribuições estatísticas (método AFL) e serem adotados os maiores valores. As retas ajustadas (Figura 4.22) sugerem que para o caso da UHE Sobradinho as vazões com T menor que 3 anos possuem valores estimados menores que as vazões médias diárias máximas anuais observadas. As vazões de projeto estimadas pelo método HMMP são apresentadas na Tabela 8.10 (Apêndice IV).

Figura 4.22 - Ajustes das séries de médias máximas anuais e vazões de pico (QP) considerando o modelo HUC Mockus, para os ajustes pela d.e.s., na UHE Sobradinho.

Para escolha do hidrograma de projeto foram inicialmente observadas as estimativas de vazão para cada TB e avaliado se os valores com T maior que 10 anos tiveram algum valor estimado menor que a vazão observada. Para a Série 1 todos os valores estimados para os três TBs atenderam essa condição, sendo maiores que os valores observados (Figura 4.22).

Figura 4.23 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados na UHE Sobradinho pelo método da HMMP utilizando a d.e.s. para $TB3$.

Os valores estimados pela d.e.s. para $TB3$ observados na Figura 4.22 superestimam as vazões em relação aos dados observados. Observa-se que a partir de T maior que 3 anos os

valores estimados são maiores que os observados (Figura 4.22). A variação dos valores estimados em relação aos observados apresenta valores superestimados em até 43% dos valores observados, caso do valor estimado para o T de 16 anos com vazão observada de 11,778 m³/s e estimado de 16,884 m³/s utilizando a Série 3 (Figura 4.23). Observa-se que as subséries Série 1 s_outlier, Série 1_vmin_20 e Série 1_vmaj_20 são as que mais se aproximam dos valores observados com variação máxima de 23% (Figura 4.23), essas séries não possuem o valor do ponto considerado *outlier*. Com isso, constata-se que o método está a favor da segurança produzindo sempre resultados acima do valor observado registrado no local de estudo.

4.2.3.2 Determinação do hidrograma de projeto

O ano hidrológico 1978-1979 apresentou o hidrograma com maior magnitude em relação ao pico e aos volumes (Q_{TB}) (Figura 4.21 e Tabela 4.20). Utilizando os conceitos de Conte (2012) os hidrogramas com maiores relação pico/média k^* das vazões excedentes, apresentam condições mais críticas de distribuição temporal das chuvas. Para as três maiores vazões na Série 1 foram calculadas as relações pico/média $k^* = (Q_P - Q_B)/(Q_{TB} - Q_B)$. Avaliando as relações vê-se que o hidrograma do ano hidrológico 1991-1992 apresenta maior k^* (Figura 4.20 e Tabela 4.20). O ano hidrológico de 1991-1992 apresenta a segunda maior vazão da série analisada e observa-se também uma pequena antecipação do tempo de pico para esse ano em relação aos picos dos anos de 1978-1979 e 1948-1949 (Figura 4.20). Avaliando as relações vê-se que o hidrograma do ano hidrológico 1991-1992 com TB3 apresenta o maior k^* (Tabela 4.20). Sendo também selecionado TB3 como melhor tempo de base para determinação do hidrograma de projeto.

Tabela 4.20 - Relações observadas entre picos e médias, UHE Sobradinho.

Anos de Cheia	Q_P (m ³ /s) observada	Q_B (m ³ /s) observada	Vazão Média Q_{TB1} (m ³ /s)	k^* TB1	Vazão Média Q_{TB2} (m ³ /s)	k^* TB2	Vazão Média Q_{TB3} (m ³ /s)	k^* TB3
78-79	18.525	1.309	7.672	2,71	7.429	2,81	7.194	2,93
91-92	16.895	1.051	6.144	3,11	5.942	3,24	5.747	3,37
48-49	15.003	1.259	7.677	2,14	7.423	2,23	7.184	2,32

Para a definição do hidrograma de projeto foi selecionada a vazão de pico estimada utilizando as estimativas calculadas utilizando o TB3. O hidrograma de projeto para o pico de $Q_{10.000}$ foi obtido utilizando como base as ordenadas do HUC de Mockus (Tabela 3.3) sendo calculado o tempo de pico de 40 dias, a vazão de pico $Q_{10.000}$ de 43.778 m³/s sendo a vazão

de base $2.743 \text{ m}^3/\text{s}$, a vazão excedente $41.035 \text{ m}^3/\text{s}$ e a vazão média (QOM) do hidrograma de $13.700 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 4.24). Outra possibilidade é a utilização do hidrograma-padrão adimensional (Q/Q_P), ou seja, o hidrograma de projeto com base em um ou na média geométrica de hidrogramas observados no local em estudo. A prática de utilizar a média das formas geométricas dos hidrogramas observados tem sido a mais utilizada e que mais se assemelha ao HUC de Mockus (CONTE, 2012).

Figura 4.24 - Hidrograma de projeto na UHE Sobradinho com base no HUC ($T=10.000$ anos), para a Série 1 ajustada pela d.e.s. para TB3.

O hidrograma-padrão selecionado para o estudo através da análise dos valores da relação pico/média $k *$ foi o hidrograma com base no ano hidrológico de 1991-1992. As vazões de pico observadas, para T de 1.000 e 10.000 anos são utilizadas para obtenção dos hidrogramas de projeto com base no hidrograma-padrão (Figura 4.25). Os valores estimados pela d.e.s. para a vazão de pico são multiplicados pelas ordenadas do hidrograma-padrão, e os hidrogramas de projeto são associados ao T da vazão de pico utilizada.

Figura 4.25 - Hidrogramas de projeto na UHE Sobradinho com base na cheia 1991-1992, para a Série 1 ajustada pela d.e.s. para TB3.

O método HMMP apresenta resultados considerados estáveis em relação às análises realizadas. A dificuldade em determinar o tempo de base e a dependência dos valores estimados a dessa determinação consiste de uma limitação. Com isso torna-se necessário propor uma melhor forma de definir TB . Neste método são utilizados os volumes para buscar as vazões de projeto e no caso de grandes bacias onde é de difícil definição os valores da chuva de projeto, o método permite apenas com base nas vazões obter as estimativas de valores de pico. O HMMP mostrou-se a favor da segurança, no caso em estudo, para todas as vazões estimadas com T acima de 3 anos. Para as vazões com T abaixo de 3 anos recomenda-se o uso do método AFL, que apresentam bom ajuste para faixas de valores com menores T e onde a faixa de dados possui mais vazões observadas.

4.3 UHE Três Marias

A série de vazões diárias da UHE Três Marias disponibilizada pela ONS (2012) compreende o período de 1931-2010 com 79 anos de dados (Figura 4.26). Pertencente à bacia hidrográfica do rio São Francisco, a área de drenagem da UHE Três Marias é de 50.600 km². A CMP definida para a UHE Três Marias é de 9.980 m³/s e as características de projeto são apresentadas nas Tabela 9.1 e Tabela 9.2 do Anexo I (CBDB, 2010). A vazão específica para a área é de 0,1972 m³/s/km².

Figura 4.26 - Fluviograma para a UHE Três Marias (1931 a 2010).

O ano hidrológico inicia em setembro na UHE Três Marias tendo a série de vazões diárias máximas anuais apresentadas na Figura 4.27 e as três maiores vazões registradas nos anos hidrológicos de 1982-1983 com 7.245 m³/s, 1996-1997 com 6.762 m³/s e 1991-1992 com 6.040 m³/s. A série não apresenta nenhuma vazão considerada atípica (*outlier*). A série completa, denominada Série 1 (Figura 4.27) e as dez subséries utilizadas na análise da UHE Três Marias são apresentadas na Tabela 8.2 (Apêndice I). As características estatísticas da Série 1 e subséries e o período que abrangem é apresentado na Tabela 4.21.

Figura 4.27 - Série de vazões diárias máximas anuais para a UHE Três Marias.

Observa-se que no período de 1931 a 1977 a Série 1 (Figura 4.27) da localidade não apresenta picos significativos, sendo a vazão máxima para esse período de 4.318 m³/s. As subséries (Série 2 e Série 3) relativas a esse período apresentaram os menores valores de desvio padrão (Tabela 4.21), representando assim a menor dispersão da série. Esse período (Série 2) também apresenta vazões médias menores do que o período que se inicia no ano hidrológico de 1977-1978 (Figura 4.27 e Tabela 4.21), a partir deste ano é que são registrados os três maiores eventos na UHE Três Marias.

O coeficiente de assimetria (*CS*) negativo calculado para a Série 2 pode evidenciar o fato de não ocorrerem grandes picos de cheia no período definido por esta subsérie, não levando a série a uma assimetria positiva, caso mais comum para séries de vazões máximas. A Série 1 e subséries para a UHE Três Marias foram utilizadas para aplicação dos métodos AFL, AFC e HMMP. Os resultados serão apresentados em termos dos valores e curvas de vazões estimadas e diferença máxima percentual (*DM*) das análises de estabilidade e sensibilidade dos métodos.

Tabela 4.21 - Estatísticas descritivas da série completa (Série 1) e subséries de vazões diárias máximas anuais (m³/s) da UHE Três Marias.

Séries	Ano início fim	Nº de dados	Máx. (m³/s)	Mín. (m³/s)	Média (m³/s)	DP (m³/s)	CS	Quartil (m³/s)		
								1º (0,25)	2º (0,50)	3º (0,75)
Série 1	1931 2010	79	7.245	1.309	3.207	1.121	1,12	2.526	3.027	3.824
Série 2	1931 1971	40	4.318	1.309	2.932	835	-0,16	2.498	2.889	3.597
Série 3	1941 1981	40	5.744	1.309	3.019	935	0,55	2.359	2.866	3.670
Série 4	1951 1991	40	7.245	1.309	3.127	1.200	1,20	2.358	2.837	3.823
Série 5	1961 2001	40	7.245	1.309	3.328	1.347	1,22	2.493	2.921	3.864
Série 6	1970 2010	40	7.245	1.309	3.435	1.334	1,04	2.509	3.261	4.162
Série 1_vmin_20	1931 2010	79	7.245	1.047	3.197	1.140	1,01	2.526	3.027	3.824
Série 1_vmaj_20	1931 2010	79	7.245	1.530	3.217	1.105	1,21	2.526	3.027	3.824

DP: Desvio Padrão; CS: Coeficiente de Assimetria.

4.3.1 AFL

A análise de frequência local (AFL) foi realizada para 82 combinações entre os momentos biased (B) e unbiased (UB), os métodos de estimação dos parâmetros máxima verossimilhança (MV), método dos momentos (MM) e momentos ponderados (MP), e 15 distribuições estatísticas. A fórmula Califórnia (Tabela 3.1) foi utilizada para determinação do tempo de retorno empírico. As simulações foram realizadas para a Série 1 e subséries e o erro padrão (EP) calculado pela média dos erros padrão para as vazões estimadas para os tempos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos. Foram selecionadas as melhores combinações para cada distribuição, consideradas as que possuem os menores valores do EP, e que foram aceitas por pelo menos um dos testes de aderência (Qui-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov). As distribuições selecionadas são apresentadas na Tabela 4.22.

A distribuição que apresentou o menor EP foi a Normal (N), e foi aceita a aderência aos dados pelos dois métodos utilizados (Tabela 4.22). Pelo teste do Qui-Quadrado todas as distribuições tiveram boa aderência às séries, e apenas duas (2) das treze (13) distribuições ajustadas foram rejeitadas pelo teste Kolmogorov-Smirnov, a Pareto Generalizada (GPAR) e a Exponencial (EXP) (Tabela 4.22). A distribuição que teve o pior ajuste, tendo como base o EP, foi a Logística Generalizada (GLOG) (Tabela 4.22). Para as combinações de métodos e distribuições selecionadas (Tabela 4.22) foram plotadas as curvas permitindo assim observar a convergência dos valores estimados para os menores tempos de retorno e a grande distorção

dos valores para as vazões decamilenares (Figura 4.28). A distribuição GPAR possui o segundo menor valor do *EP*, no entanto, é a que mais se distancia dos maiores valores observados e a distribuição EXP apresenta os valores mais próximos.

Tabela 4.22 - Métodos estatísticos selecionados para o estudo da AFL, através da avaliação do erro padrão médio (*EP*) e dos testes de aderência, para UHE Três Marias.

Métodos	<i>EP*</i> (m ³ /s)	Qui-Quadrado***	Kolmogorov-Smirnov***
UB e B-MV-PIII	990	Aceito	Aceito
UB e B-MV-LN3	1.580	Aceito	Aceito
UB e B-MV-EV1	738	Aceito	Aceito
UB e B-MV-GAM	603	Aceito	Aceito
UB e B-MV-LPIII	1.515	Aceito	Aceito
B-MM-GLOG	4.677	Aceito	Aceito
B-MM-W	1.242	Aceito	Aceito
B-MM-LN2	898	Aceito	Aceito
B-MP-GEV	911	Aceito	Aceito
B-MP-GPAR	441	Aceito	Rejeitado
B-MP-N	355	Aceito	Aceito
B-MP-EXP	1.285	Aceito	Rejeitado
B-MP-LOG	508	Aceito	Aceito

*EP calculado pela média dos erros padrão para as vazões estimadas para os tempos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos; ***Nível de significância de 5%.

Figura 4.28 - Vazões estimadas pelas distribuições ajustadas utilizando a Série 1, para UHE Três Marias.

Comparando os valores estimados com os observados, constata-se que todas as distribuições selecionadas estimaram valores menores do que as quatro maiores vazões

registradas na UHE Três Marias, para os valores ajustados pela Série 1 (Figura 4.28). Os maiores valores não aderem às distribuições. Os resultados dos ajustes para as combinações de métodos e distribuições para a Série 1 e subséries são apresentados nas Figura 8.5, Figura 8.6 e Figura 8.7 do Apêndice II. Os parâmetros ajustados são apresentados na Tabela 4.23 sendo possível observar que alguns métodos não convergiram para algumas das subséries. Os parâmetros ajustados pelo MV produziram os mesmos valores pelos momentos B e UB.

Tabela 4.23 - Parâmetros das distribuições selecionadas para o estudo da AFL para a Série 1 e subséries de vazões diárias máximas anuais (m³/s) da UHE Três Marias.

Métodos	Parâmetros	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Série 5	Série 6	Série 1_ vmin_20	Série 1_ vmaj_20
B-MV- PIII*	γ	568	**	38	936	1.024	847	-313	1.119
	α	458	**	289	641	743	668	353	575
	β	5,76	**	10,33	3,42	3,10	3,88	9,94	3,65
B-MV- LN3*	a	-497	**	-1.425	117	396	-50	-1.625	218
	μ	8,175	**	8,378	7,937	7,889	8,089	8,455	7,943
	σ	0,29	**	0,21	0,38	0,44	0,37	0,23	0,35
B-MV- EV1*	u	2.702	2.514	2.580	2.597	2.743	2.841	2.677	2.726
	α	896	806	797	908	974	1.020	952	853
B-MV- GAM*	α	363	263	284	410	470	469	395	342
	β	8,82	11,16	10,61	7,63	7,08	7,32	8,10	9,42
B-MV- LPIII*	γ	-12.132	**	**	**	**	**	-8.247	-2
	α	0,00	**	**	**	**	**	0,00	0,01
	β	1,26E+09	**	**	**	**	**	5,15E+08	877
B-MM- GLOG*	η	3.095	2.945	2.970	3.003	3.188	3.312	3.092	3.101
	α	585	454	502	620	694	697	600	573
	K	-0,11	0,02	-0,06	-0,12	-0,12	-0,11	-0,11	-0,12
B-MM- W	M	1.587	-258	1.124	1.456	1.471	1.424	1.452	1.690
	A	1.792	3.501	2.139	1.840	2.041	2.237	1.943	1.678
	B	1,48	4,38	2,16	1,43	1,42	1,56	1,58	1,41
B-MM- LN2	σ	0,34	0,28	0,30	0,37	0,39	0,37	0,34	0,33
	μ	8,02	7,95	7,97	7,98	8,04	8,07	8,01	8,02
B-MP- GEV	U	2.787	2.789	2.753	2.700	2.804	2.954	2.782	2.793
	α	969	907	933	1.043	1.087	1.165	1.002	936
	K	0,17	0,64	0,39	0,20	0,11	0,20	0,19	0,14
B-MP- GPAR	E	1.591	1.156	1.385	1.380	1.518	1.485	1.519	1.659
	α	2.825	5.139	3.683	3.175	2.939	3.525	3.026	2.640
	K	0,75	1,89	1,25	0,82	0,62	0,81	0,80	0,69
B-MP- N	μ	3.207	2.932	3.019	3.127	3.328	3.435	3.197	3.217
	σ	1.043	808	890	1.099	1.223	1.231	1.060	1.026
B-MP- EXP	η	1.285	1.267	1.265	1.262	1.257	1.254	1.019	1.508
	α	1.922	1.664	1.754	1.865	2.071	2.180	2.177	1.709
B-MP- LOG	m	3.207	2.932	3.019	3.127	3.328	3.435	3.197	3.217
	a	588	456	502	620	690	695	598	579

*Mesmo resultado utilizando os momentos biased (B) e unbiased (UB); **O ajuste não convergiu.

A análise das vazões decamilenares estimadas a partir dos parâmetros (Tabela 4.23) ajustados para as distribuições permite que se avalie o método AFL. As vazões decamilenares

tiveram variação máxima considerando todos os valores estimados de 286%. As distribuições que apresentaram os piores resultados em termos das diferenças máximas DM foram a GEV e GLOG com cerca de 120% entre os valores inferidos (Tabela 4.25).

A LPIII apresentou a menor DM , porém não convergiu para as cinco (5) séries com 40 anos de dados. A EV1 é a distribuição que apresenta a menor variação com 23% de diferença entre a estimativa pela Série 3 e Série 6 (Tabela 4.25). As relações das $Q_{10.000}$ com a CMP e a $Q_{máx}$ permitem avaliar a segurança em se utilizar deste método para determinação de cheias de projeto. Apenas as distribuições EXP e LPIII tiveram todos os valores estimados acima da CMP de 9.800 m³/s e da $Q_{máx}$ de 7.245 m³/s (1982-1983) para a UHE Três Maria. Como observado na Figura 4.28 e **Erro! Autoreferência de indicador não válida.**, a distribuição GPAR é a que apresenta os piores valores sendo todas as estimativas superadas pela CMP e pela $Q_{máx}$. A distribuição N que apresenta o melhor EP também tem todas as estimativas superadas pela CMP e seis (6) das estimativas são menores que a $Q_{máx}$, e a DM para as $Q_{10.000}$ é de 35% (Tabela 4.25). Esses valores representam a grande insegurança na utilização da AFL e a necessidade de buscar novos métodos ou ferramentas que ajudem de forma efetiva na escolha da metodologia a ser aplicada para obtenção das cheias de projeto.

Tabela 4.24 - Vazões (m³/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pelo método AFL, diferença percentual máxima (DM) entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a $Q_{máx}$, para a UHE Três Marias.

Séries	GEV	PIII	LN3	GLOG	EV1	GPAR	W	N	EXP	LOG	LN2	GAM	LPIII
Série 1	7.352	9.344	9.985	12.650	10.953	5.366	9.623	7.085	12.868	8.626	10.632	8.837	10.805
Série 2	4.196	***	***	6.795	9.940	3.869	5.553	5.938	10.420	7.132	7.871	7.360	***
Série 3	5.058	7.748	7.952	9.125	9.916	4.322	7.094	6.330	11.266	7.645	8.774	7.726	***
Série 4	7.092	10.538	11.694	13.403	10.958	5.262	10.134	7.214	13.308	8.837	11.418	9.160	***
Série 5	9.209	11.685	13.877	14.945	11.715	6.215	11.260	7.876	14.656	9.682	12.929	10.073	***
Série 6	7.938	11.447	12.771	14.201	12.232	5.848	10.715	8.014	14.841	9.833	12.718	10.244	***
Série 1_ vmin_20	7.092	8.903	9.353	12.389	11.443	5.281	9.407	7.140	13.020	8.706	10.824	9.127	11.615
Série 1_ vmaj_20	7.633	9.996	10.733	12.843	10.584	5.459	9.793	7.032	12.720	8.547	10.466	8.633	10.804
DM	119%	51%	75%	120%	23%	61%	103%	35%	42%	38%	64%	39%	8%
$N_{VALORES}$ < CMP**	8	3	2	2	2	8	5	8	-	8	2	6	-
$N_{VALORES}$ < $Q_{máx}$ ***	4	-	-	1	-	8	2	6	-	1	-	-	-

*O ajuste não convergiu; **Cheia Máxima Provável (CMP) = 9.800 m³/s; ***Vazão Máxima Naturalizada ($Q_{máx}$) = 7.245 m³/s no ano hidrológico 1982-1983.

As análises da estabilidade e sensibilidade do método AFL visa a avaliar de forma mais aprofundada as deficiências do método na estimativa de máximos. Os piores resultados foram apresentados quanto à estabilidade do método, ao utilizar subséries de mesmos

tamanho (40 anos de dados) obtidas a partir do janelamento da Série 1 (série completa) (Tabela 4.25) evidenciou *DM* de 120% pela GLOG. As *DMs* variaram de 23% a 120% quando analisada a estabilidade sendo estas consideradas percentagens expressivas para o dimensionamento de estruturas hidráulicas.

Tabela 4.25 - Diferença percentual máxima (*DM*) entre as vazões decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas pelo método AFL e para as diferentes análises, para UHE Três Marias.

Análises	GEV	PIII	LN3	GLOG	EV1	GPARG	W	N	EXP	LOG	LN2	GAM	LPIII
Estabilidade do Método	119%	51%	75%	120%	23%	61%	103%	35%	42%	38%	64%	39%	*
Tamanho da Amostra	103%	45%	62%	92%	23%	60%	89%	34%	41%	36%	57%	37%	**
Menores valores (minorados 20%)	4%	5%	7%	2%	4%	2%	2%	1%	1%	1%	2%	3%	7%
Menores valores (majorados 20%)	4%	7%	7%	2%	3%	2%	2%	1%	1%	1%	2%	2%	0%

*O ajuste não convergiu; **Não foi possível a análise, pois apenas um valor foi estimado.

Comparando os valores da Série 1 (79 anos de dados) com as subséries de 40 anos de dados, as *DM* também foram expressivas chegando a 103% (Tabela 4.25). Todas as distribuições apresentaram variação maior do que 23% (Tabela 4.25). A sensibilidade do método aos menores valores da série foi menos expressiva. A minoração ou majoração dos três menores valores em 20% causou uma *DM* de até 7% (Tabela 4.25).

Em relação aos valores observados constata-se que as maiores variações ocorrem para os maiores tempo de retorno (T). Conforme esperado, os ajustes não são bons na cauda superior onde o número de dados observados é escasso (Figura 4.29). Os valores estimados chegam a cerca de 30% a menos que as vazões observadas (Figura 4.29). A distribuição EXP é a que apresenta os melhores resultados em relação aos valores observados e a distribuição GPAR os piores (Figura 4.29).

Figura 4.29 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados na UHE Três Marias pelo método AFL utilizando as estimativas pela Série 1.

A avaliação do *EP*, da *DM*, das análises de estabilidade e sensibilidade, e das relações com os dados observados não apresentam de forma evidente quais das distribuições melhor se adequa aos dados e acarretaria em uma maior segurança a decisão de utilização para determinação da cheia de projeto. Para escolha da distribuição para a qual será realizada a apresentação detalhada dos resultados foram utilizados os diagramas MRD Convencional (Figura 4.30), MRD (Figura 4.31) e L-MRD (Figura 4.32).

Pela análise dos diagramas vê-se que GEV, LOGN e PIII são as distribuições recomendadas através da verificação do *CS* e *CK*. Como segundo critério de avaliação o valor do *EP* médio será avaliado, tendo a distribuição GEV 911 m³/s, LOGN definida pela LN2 e LN3 com EP de 898 m³/s e 1580 m³/s, respectivamente, e PIII com EP de 990 m³/s. Sendo selecionada a distribuição LN2. Pelos diagramas das Figura 4.30, Figura 4.31 e Figura 4.32 é possível observar os valores dos coeficientes *CS* e *CK* e verifica-se o espalhamento destes valores, não convergindo para um valor comum, apesar de serem séries provenientes de um mesmo local. A Série 2 e 3 apresentam coeficientes *CS* e *CK* distintos das demais séries, sendo o *CS* de -0,16 e 0,55, respectivamente, e *CK* de 2,58 para a Série 2 e 3,57 para a Série 3.

Figura 4.30 - Diagrama da relação dos momentos – (MRD Convencional) e os coeficientes estatísticos (CS^2 versus CK) das subséries (SITES) da UHE Três Marias.

Figura 4.31 - Diagrama da relação dos momentos – (MRD) e os coeficientes estatísticos (CS) versus CK das subséries (SITES) da UHE Três Marias.

Figura 4.32 - Diagrama da relação dos momentos L – (L-MRD) e os coeficientes estatísticos (L-CS versus L-CK) das subséries (SITES) da UHE Três Marias.

4.3.1.1 Distribuição LN2

A distribuição LN2 foi aplicada para as combinações de métodos da AFL e os parâmetros μ e σ da distribuição foram ajustados para a Série 1 e subséries (Tabela 4.26). Os parâmetros estimados pelos momentos B e UB para o método de estimação de parâmetro MV são iguais. As simulações convergiram para um resultado para todas as combinações de método e para todas as séries (Tabela 4.26).

Tabela 4.26 - Parâmetros da distribuição probabilística LN2, para UHE Três Marias.

Método e parâmetros		Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Série 5	Série 6	Série 1_ vmin_20	Série 1_ vmaj_20
U e B-MV	μ	8,015	7,938	7,965	7,981	8,038	8,072	8,007	8,022
	σ	0,342	0,315	0,315	0,365	0,376	0,375	0,364	0,327
B-MM	μ	8,016	7,945	7,968	7,981	8,036	8,073	8,011	8,021
	σ	0,338	0,276	0,299	0,366	0,385	0,370	0,344	0,332
B-MP	μ	8,019	7,945	7,969	7,985	8,041	8,076	8,014	8,025
	σ	0,328	0,277	0,297	0,355	0,372	0,362	0,335	0,322
UB-MM	μ	8,015	7,944	7,967	7,979	8,034	8,071	8,010	8,021
	σ	0,340	0,279	0,302	0,371	0,389	0,375	0,346	0,334
UB-MP	μ	8,016	7,941	7,964	7,978	8,034	8,069	8,011	8,022
	σ	0,337	0,292	0,312	0,374	0,391	0,381	0,344	0,330

A $Q_{10.000}$ estimadas pela distribuição LN2 variaram entre 7.871 m³/s e 13.205 m³/s, com *DM* de 68% (Tabela 4.27). A maior variação entre as estimativas ocorre pelo método UB-MM com 65% de diferença entre as Série 2 e Série 5 (Tabela 4.27). Todas as combinações apresentaram os valores estimados utilizando as Série 2 e Série 3 menor do que a CMP de 9.980 m³/s (Tabela 4.27). O menor *EP* ocorre para a combinação B-MP e a simulação apresentou falha no calculo do *EP* para B e UB-MP (Tabela 4.27). A $Q_{m\acute{a}x}$ é superada por todas as $Q_{10.000}$ (Tabela 4.27) fator que agrega maior segurança às estimativas.

Tabela 4.27 - Vazões (m³/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pela distribuição LN2, diferença percentual máxima (*DM*) entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a $Q_{m\acute{a}x}$, para a UHE Três Marias.

Séries	B e UB-MV	B-MM	B-MP	UB-MM	UB-MP	<i>DM</i>
Série 1	10.804	10.632	10.296	10.705	10.599	5%
Série 2	9.035	7.871	7.917	7.963	8.319	15%
Série 3	9.270	8.774	8.718	8.884	9.191	6%
Série 4	11.384	11.418	10.998	11.586	11.707	6%
Série 5	12.551	12.929	12.372	13.126	13.205	7%
Série 6	12.905	12.718	12.379	12.907	13.193	7%
Série 1_vmin_20	11.614	10.824	10.498	10.900	10.813	11%
Série 1_vmaj_20	10.302	10.466	10.102	10.537	10.394	4%
<i>DM</i>	43%	64%	56%	65%	59%	
$N_{VALORES} < CMP^*$	2	2	2	2	2	
$N_{VALORES} < Q_{m\acute{a}x}^{**}$	-	-	-	-	-	
<i>EP</i> ***	1.073	898	****	917	****	

*Cheia Máxima Provável (CMP) = 9.980 m³/s; **Vazão Máxima Naturalizada ($Q_{m\acute{a}x}$) = 7.245 m³/s no ano hidrológico 1982-1983; ***Erro padrão médio (*EP*) calculado pela média dos erros padrão para as vazões estimadas para os tempos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos; **** A simulação apresentou falha no calculo do *EP*.

A curva da distribuição LN2 (B-MM-LN2) e os intervalos de confiança a 95% são plotados na Figura 4.33. O limite inferior e superior do intervalo de confiança definem a região de confiança em torno da linha de ajuste da distribuição a um nível de confiança de

95%, logo tem-se 95% de confiança de que a distribuição teórica estará contida dentro dessa região. O intervalo de confiança para a distribuição demonstra ser um bom ajuste, porém as vazões observadas são maiores que as estimadas, para valores com T superiores a 20 anos.

Figura 4.33 - Vazões estimadas pela combinação B-MM-LN2 ajustada utilizando a Série 1, para a UHE Três Marias.

As curvas ajustadas para a Série 1 e subséries e utilizadas na análise da estabilidade do método AFL e na sensibilidade ao tamanho da amostra são apresentadas na Figura 4.34, as séries utilizadas em cada análise são indicadas no Quadro 3.3. O método mostra-se instável para este estudo de caso, pois para as subséries retiradas da mesma população e com mesmo número de dados a variação entre os valores estimados para a $Q_{10.000}$ chega a 64%. Essa variação é intensificada à medida que o T aumenta, ou seja, para os períodos em que os valores são extrapolados.

A sensibilidade dos métodos AFL ao tamanho da amostra é verificada comparando os valores estimados pela série com 79 anos de dados (Série 1) e as subsérie com 40 anos de dados (Figura 4.34). É constatado que a presença dos valores mais significativos da Série 1 possui relação com os valores estimados pelas subséries com 40 anos de dados. Observa-se que para as séries com o mesmo número de dados a presença dos valores mais significativos é determinante no valor estimado. O aumento do valor estimado coincide com o aumento da quantidade de valores observados com T maior ou igual a 10 anos (Figura 4.35).

Figura 4.34 - Vazões estimadas pelo método da AFL utilizando a combinação B-MM-LN2, para as subséries utilizadas na análise da estabilidade do método e da sensibilidade ao tamanho da amostra, na UHE Três Marias.

Figura 4.35 - Relação entre o número de valores observados com T maior que 10 anos e as $Q_{10.000}$ estimadas pela combinação B-MM-LN2, na UHE Três Marias.

A Série 1 que possui os 8 valores com tempo de retorno T maior ou igual a 10 anos e compreende um período de 79 anos de dados resultou em uma $Q_{10.000}$ menor que para as Série 4, 5 e 6 que possuem 6 ou mais dos valores significativos da série. Esse fato evidencia que séries menores com valores significativos tendem a superestimar as vazões decamilenares. Os períodos que as séries compreendem têm interferência na estimativa. Como

visto nas estatísticas descritivas (Tabela 4.21) as Séries 2 e 3 abrangem períodos mais homogêneos da série e com poucos picos de cheia (Figura 4.35).

Em relação aos menores valores o método variou de forma pouco expressiva. As curvas para a Série 1 e para as séries com os valores minorados e majorados em 20% são plotadas na Tabela 4.25. A variação máxima é de 2% para as duas análises. Quando comparadas às estimativas aos valores observados (Figura 4.37) a variação chega a cerca de 30% para a Série 2, que é a subsérie que apresentou as maiores diferenças estatísticas em relação às demais subséries estudadas.

Figura 4.36 - Vazões estimadas pelo método da AFL utilizando a combinação B-MM-LN2, para as subséries utilizadas na análise da sensibilidade a influência dos menores valores, na UHE Três Marias.

Figura 4.37 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados pelo método da AFL utilizando a combinação B-MP-GEV, na UHE Três Marias.

A aplicação da distribuição LN2 teve o intuito de apresentar as curvas e valores estimados e assim avaliar o uso da AFL para obtenção de valores extremos. No entanto, as demais distribuições também apresentaram comportamento semelhante, com proporções diferentes, como pode ser observado nas curvas ajustadas apresentadas no Apêndice II.

4.3.2 AFC

As vazões máximas anuais da UHE Três Marias também foram utilizadas para aplicação do método de Análise de Frequência Conjugada (AFC) para o qual os parâmetros foram estimados pelos métodos dos mínimos quadrados (MQ), método dos momentos (MM), e método da máxima verossimilhança (MV). Os parâmetros k e u estimados para a Série 1 e subséries são apresentados na Figura 4.29 e as curvas ajustadas para a AFC são apresentadas na Figura 8.11 (Apêndice III) para os três métodos de estimação de parâmetros MQ, MM e MV. Para determinação do ponto de plotagem foi utilizada a fórmula de Weibull (Quadro 2.2), nota-se que o software MC utilizado não possibilita utilizar a fórmula Califórnia aplicada para os métodos AFL e HMMP.

Tabela 4.28 - Parâmetros do método da AFC para a Série 1 e subséries de vazões diárias máximas anuais da UHE Três Marias.

Método de Estimação dos Parâmetros	Mínimos Quadrados (MQ)		Método dos Momentos (MM)		Máxima Verossimilhança (MV)	
	k	u (m ³ /s)	k	u (m ³ /s)	k	u (m ³ /s)
Série 1	5,85	2.655	7,14	2.746	7,65	2.770
Série 2	9,45	2.566	10,26	2.578	9,18	2.561
Série 3	7,94	2.596	8,96	2.627	9,00	2.628
Série 4	5,17	2.511	6,72	2.637	7,49	2.669
Série 5	4,45	2.657	5,73	2.791	6,64	2.830
Série 6	4,54	2.789	5,69	2.903	6,36	2.934
Série 1_vmin_20	5,81	2.641	7,02	2.729	7,34	2.750
Série 1_vmaj_20	5,88	2.667	7,24	2.762	7,93	2.789

As $Q_{10.000}$ estimadas possuem diferença máxima de até 30%, valor que ocorre entre as estimativas feitas pela Série 2 de 6.925 m³/s pelo MM, menor valor estimado, e pela Série 5 de 9.055 m³/s pelo MQ (Tabela 4.29). O valor estimado pela Série 2 é cerca de 5% inferior ao valor máximo observado na UHE Três Marias de 7.245 m³/s no ano hidrológico de 1982-1983 (Tabela 4.29). E o maior valor estimado se aproxima da CMP do local, sendo de 9.055 m³/s que corresponde a 91% do valor da CMP de 9.980 m³/s (Tabela 4.29). A Série 2 estima valores menores que a vazão máxima observada pelos métodos de estimação MQ e MM (Tabela 4.29). O método de estimação de parâmetros MV não apresenta nenhuma estimativa

com valor inferior à $Q_{m\acute{a}x}$ (Tabela 4.29). Todas as estimativas são inferiores à CMP, o que ocorrer pelo fato de a função utilizada na AFC ter como limite superior o valor da CMP.

Tabela 4.29 - Vazões (m³/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pelo método AFC, diferença percentual máxima (DM) entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a $Q_{m\acute{a}x}$, para UHE Três Marias.

Método Séries	AFC			DM entre os métodos MQ, MM e MV
	MQ	MM	MV	
Série 1	8.463	7.990	7.815	8%
Série 2	7.182	6.965	7.259	4%
Série 3	7.666	7.351	7.339	4%
Série 4	8.720	8.117	7.843	11%
Série 5	9.055	8.538	8.193	11%
Série 6	9.035	8.578	8.324	9%
Série 1_vmin_20	8.476	8.026	7.919	7%
Série 1_vmaj_20	8.452	7.958	7.730	9%
DM	26%	23%	15%	
$N_{VALORES} < CMP^*$	8	8	8	
$N_{VALORES} < Q_{m\acute{a}x}^{**}$	1	1	-	

*Cheia Máxima Provável (CMP) = 9.980 m³/s; **Vazão Máxima Naturalizada ($Q_{m\acute{a}x}$) = 7.245 m³/s no ano hidrológico 1982-1983.

O MV com 15% de DM entre as vazões estimadas é o método de estimação de parâmetros que apresenta os valores com menor variação e o MQ com maior variação chegando a 26% (Tabela 4.29). As estimativas das $Q_{10.000}$ variam ainda conforme o método de estimação de parâmetros. Para uma mesma série, somente a mudança do procedimento de estimação a DM chegou a 11% (Tabela 4.29). O método AFC foi analisado quanto à estabilidade, à sensibilidade ao tamanho da amostra e aos menores valores.

As DM para as análises da estabilidade e sensibilidade da amostra obtiveram os mesmos valores (Tabela 4.30). As diferenças entre as vazões estimadas pela Série 2 e Série 6 predominaram nas análises (Tabela 4.30). A influência dos menores valores nas estimativas foi pouco significativa chegando a apenas 1% pelo método MV (Tabela 4.30).

Tabela 4.30 - Diferença percentual máxima (DM) entre as vazões decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas pelo método AFC e para as diferentes análises, para UHE Três Marias.

Análises	AFC		
	MQ	MM	MV
Estabilidade do método	26%	23%	15%
Tamanho da amostra	26%	23%	15%
Menores valores (minorados 20%)	0%	0%	1%
Menores valores (majorados 20%)	0%	0%	1%

Para avaliar o método AFC, um dos métodos de estimação foi selecionado para uma descrição mais detalhada dos resultados. Para selecionar o melhor método foi utilizado o valor da Raiz do Erro Quadrático Médio (*RMSE*) calculado para as vazões com T maior ou igual a 10 anos (Tabela 4.31). O método de estimação que apresentou os menores desvios em relação aos dados observados foi o MM (Tabela 4.31). Os valores da média da *RMSE* obtidas mostram-se muito próximas, os maiores desvios ocorreram para a estimativa pela Série 2 (Tabela 4.31).

Tabela 4.31 - Raiz do Erro Quadrático Médio (*RMSE**), em m³/s, das vazões estimadas pelo método AFC, para UHE Três Marias.

Séries	MQ	MM	MV
Série 1	618	698	763
Série 2	1.135	1.247	1.095
Série 3	867	1.025	1.031
Série 4	655	663	767
Série 5	943	658	646
Série 6	967	697	650
Série 1_vmin_20	617	687	724
Série 1_vmaj_20	619	708	797
Média	803	798	809
Soma	6.421	6.383	6.472

*Valores dos desvios calculados para as vazões com tempo de retorno (T) maior ou igual a 10 anos.

4.3.2.1 Método AFC ajustado pelo MM

As curvas da AFC podem ser visualizadas nas Figura 8.11 (Apêndice III) para os três métodos MQ, MM e MV. As séries utilizadas na análise da estabilidade e sensibilidade ao tamanho da amostra são plotadas na Figura 4.38 e da sensibilidade aos menores valores na Figura 4.39. Nas curvas também observa-se o crescimento das estimativas das séries de 40 anos de dados em função da presença dos valores mais significativos como analisado para a AFL pelo ajuste da distribuição LN2 (Figura 4.35).

As *DM* para a sensibilidade da AFC aos menores valores apresentadas na Tabela 4.30 pode ser observada nas curvas plotadas Figura 4.39, confirmando o fato de não haver variação nas estimativas causadas pela minoração e majoração dos menores valores. Nas curvas também é possível observar que as estimativas foram sempre menores que os três maiores valores observados na UHE Três Marias (Figura 4.38 e Figura 4.39).

O gráfico das variações das estimativas de vazões em relação aos valores observados, na Figura 4.40, demonstra que os valores estimados chegam a cerca de 30% a menores que os valores observados. As subséries denominadas Séries 5 e 6, apresentam os melhores

resultados, superestimando os valores observados até o T menor que 20 anos em cerca de 25% e subestimando as vazões com T maior que 20 anos em menos de 10%.

Figura 4.38 - Vazões estimadas pelo método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MM, para as subséries utilizadas na análise da estabilidade do método e da sensibilidade ao tamanho da amostra, para UHE Três Marias.

Figura 4.39 - Vazões estimadas pelo método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MM, para análise da sensibilidade a influência dos menores valores, para UHE Três Marias.

Figura 4.40 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados pelo método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MM, para a UHE Três Marias.

Como o método AFC utiliza a informação da CMP como valor limite superior, uma análise da sensibilidade do método em relação a CMP será realizada. Os parâmetros estimados para o uso do método AFC com a CMP minorada e majorada em 20% foram estimados e as vazões calculadas para diversos T (Tabela 4.32). No Apêndice III os valores das vazões são estimados para diversos T (Tabela 8.7) e a maior variação observada em relação a série com CMP original foi de -10% para a $Q_{10.000}$ utilizando a CMP minorada em 20% (Tabela 8.8). A DM entre as $Q_{10.000}$ inferidas para análise da sensibilidade ao valor da CMP, entre a vazão com a CMP minorada e a vazão com a CMP majorada, é de 18% (Tabela 4.32).

Tabela 4.32 - Parâmetros do método da AFC pelo MM para a Série 1, $Q_{10.000}$ (m³/s) e DM entre as vazões inferidas, para a UHE Três Marias.

CMP	-20%	original	+20%	
(m³/s)	7.984	9.980	11.976	
Série	Série 1			
Parâmetros	<i>k</i>	4,94	7,14	9,58
	<i>u</i> (m³/s)	2.789	2.746,08	2.751,08
<i>Q</i> _{10.000}		7.179	7.990	8.450
<i>DM</i>		18%		

A cauda superior da distribuição mostrou-se mais sensível à variação da CMP. Uma variação de 20% na CMP, tanto para baixo como para cima, provocou uma alteração de mesma proporção nas vazões estimadas, sendo a máxima variação de -10% considerando a CMP minorada e de 6% para a CMP majorada (Tabela 8.8 no Apêndice III). Essas variações podem ser observadas nas curvas plotadas na Figura 4.41, permitindo que se constata e constata-se também que com o aumento do T as variações aumentam gradativamente (Tabela 8.8 no Apêndice III).

Figura 4.41 - Método da AFC utilizando o ajuste de parâmetros pelo MM, análise da sensibilidade a CMP, para UHE Três Marias.

4.3.3 HMMP

O método do HMMP utiliza as informações das vazões médias diárias para obtenção das séries de vazões médias com tempo de base TB . A partir da observação dos hidrogramas correspondentes aos três maiores picos diários de vazões observadas na UHE Três Marias foram estimados os tempos de base $TB1= 130$ dias, $TB2= 170$ dias e $TB3= 210$ dias. Definidos os valores dos TBs as séries de vazões médias com tempo de base $TB1$, $TB2$ e $TB3$ foram calculadas e os valores máximos anuais dos respectivos tempos de base foram selecionados para cada ano hidrológico (Tabela 8.12 no Apêndice IV). As séries de máximas vazões anuais TB foram ordenadas e o ponto de plotagem definido pela fórmula Califórnia (Quadro 2.2). Os ajustes das distribuições foram realizados para obtenção dos parâmetros da distribuição exponencial simples (d.e.s.) e da regressão linear simples (r.l.s.), sendo Q_B e G_O os parâmetros definidos (Tabela 4.33).

As retas ajustadas pela d.e.s. e pela r.l.s. para vazões estimadas para $TB1$, $TB2$ e $TB3$ são apresentadas nas Figura 8.14 e Figura 8.15 do Apêndice IV. As vazões estimadas para diversos T , segundo o método HMMP, são apresentadas na Tabela 8.17 (Apêndice IV). Como os valores estimados pelo método do HMMP possuem forte dependência com o TB utilizado, uma análise mais detalhada deste e de outros fatores que influenciam nas estimativas são estudados a seguir.

Tabela 4.33 - Parâmetros do método do HMMP para a Série 1 e subséries de vazões diárias máximas anuais (m³/s) da UHE Três Marias.

Séries	HMMP Tempos de base	Distribuição Exponencial Simples (d.e.s.)		Regressão Linear Simples (r.l.s.)	
		Q_B (m³/s)	G_0 (m³/s)	Q_B (m³/s)	G_0 (m³/s)
Série 1	<i>TB1</i>	824	467	842	471
	<i>TB2</i>	737	401	750	406
	<i>TB3</i>	693	339	703	344
Série 2	<i>TB1</i>	796	445	828	443
	<i>TB2</i>	719	380	746	380
	<i>TB3</i>	696	309	719	308
Série 3	<i>TB1</i>	796	470	823	476
	<i>TB2</i>	725	399	749	404
	<i>TB3</i>	678	337	700	339
Série 4	<i>TB1</i>	716	548	728	576
	<i>TB2</i>	642	475	652	499
	<i>TB3</i>	591	419	599	441
Série 5	<i>TB1</i>	778	528	792	552
	<i>TB2</i>	686	464	698	485
	<i>TB3</i>	626	406	635	427
Série 6	<i>TB1</i>	784	535	800	558
	<i>TB2</i>	695	463	707	483
	<i>TB3</i>	645	398	654	418
Série 1_ vmin_20	<i>TB1</i>	824	467	835	474
	<i>TB2</i>	737	401	745	409
	<i>TB3</i>	693	339	699	347
Série 1_ vmaj_20	<i>TB1</i>	837	463	842	471
	<i>TB2</i>	747	398	750	406
	<i>TB3</i>	703	335	703	344

TB: tempo de base com valores *TB1*=130 dias, *TB2*=170 dias e *TB3*=210 dias.

Para as estimativas das $Q_{10.000}$ observa-se que os resultados são inversamente proporcionais ao aumento do valor de *TB*, ou seja, quanto maior o valor do *TB* menor a vazão estimada. Uma das dificuldades da aplicação deste método HMMP consiste na determinação do tempo de base *TB*. A *DM* foi maior para o *TB3*, atingindo uma variação de 39% pelo ajuste da r.l.s. (Tabela 4.34). Os resultados pela d.e.s. utilizando *TB1* produziram a menor *DM* de 22%. Observa-se que todos os valores das $Q_{10.000}$ superam a CMP e a $Q_{máx}$ para a UHE Três Marias, com isso pode-se afirmar que o método agrega maior segurança à estimativa de valores máximos (Tabela 4.34). No entanto, as vazões apresentam valores maiores que 2 vezes o valor da CMP, o que pode acarretar maiores custos e ser considerado um valor superestimado e improvável de ocorrer. Esse valor ocorre para a estimativa pela Série 4 usando a r.l.s. e a *TB1*. Ao considerar a Série 1 o maior valor estimado foi de 17.075 m³/s (Tabela 4.34) que corresponde a 71% da CMP.

Tabela 4.34 - Vazões (m^3/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pelo método do HMMP, diferença percentual máxima (DM) entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a $Q_{máx}$, para UHE Três Marias.

Séries	d.e.s.			r.l.s.		
	$TB1^*$	$TB2^*$	$TB3^*$	$TB1^*$	$TB2^*$	$TB3^*$
Série 1	16.933	14.570	12.387	17.075	14.762	12.566
Série 2	16.146	13.827	11.355	16.117	13.837	11.340
Série 3	17.009	14.489	12.303	17.256	14.671	12.380
Série 4	19.620	17.027	15.045	20.587	17.876	15.808
Série 5	18.992	16.692	14.631	19.833	17.442	15.371
Série 6	19.239	16.666	14.374	20.045	17.382	15.062
Série 1_vmin_20	16.933	14.570	12.387	17.193	14.854	12.655
Série 1_vmaj_20	16.808	14.476	12.259	17.072	14.762	12.566
DM	22%	23%	32%	28%	29%	39%
$N_{VALORES} < CMP^{**}$	-	-	-	-	-	-
$N_{VALORES} < Q_{máx}^{***}$	-	-	-	-	-	-

* TB : tempo de base com valores $TB1=130$ dias, $TB2=170$ dias e $TB3=210$ dias; **Cheia Máxima Provável (CMP) = $9.980 m^3/s$; ***Vazão Máxima Naturalizada ($Q_{máx}$) = $7.245 m^3/s$ no ano hidrológico 1982-1983.

As análises da estabilidade e sensibilidade do método ao tamanho da amostra tiveram valores iguais. Essas análises resultaram em DM máxima de 39% (Tabela 4.35). A d.e.s. apresentou uma variação um pouco menor do que a r.l.s., sendo 6% menores em todos os casos (Tabela 4.35). Em relação aos menores valores a sensibilidade do método mostra-se insignificante tanto para minoração como para a majoração (Tabela 4.35).

Tabela 4.35 - Diferença percentual máxima (DM) entre as vazões decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas pelo método do HMMP e para as diferentes análises, para UHE Três Marias.

Análises	d.e.s.			r.l.s.		
	$TB1$	$TB2$	$TB3$	$TB1$	$TB2$	$TB3$
Estabilidade do método	22%	23%	32%	28%	29%	39%
Tamanho da amostra	22%	23%	32%	28%	29%	39%
Menores valores (minorados 20%)	0%	0%	0%	1%	1%	1%
Menores valores (majorados 20%)	1%	1%	1%	0%	0%	0%

A influência da distribuição utilizada também foi avaliada, sendo os valores estimados pela d.e.s. comparados com os valores estimados pela r.l.s.. Para maior parte das vazões estimadas para diversos tempos de retorno essas variações foram de 1% para os três TBs . Ocorrendo apenas variação de 2% para as vazões com T anual para $TB1$ e $TB2$, ou seja, uma variação no valor do parâmetro Q_B . A comparação entre as distribuições é apresentada nas Tabela 8.18 do Apêndice IV e Figura 4.42. O método sofre pouca variação com a mudança da equação de ajuste, mas tem forte variação entre os valores estimados para os TBs . A diferença entre os valores estimados levando em consideração os diferentes TBs chega-se a 37% de variação (Tabela 8.15 do Apêndice IV e Figura 4.42).

Figura 4.42 - Método do HMMP utilizando os ajustes d.e.s. e a r.l.s. para a Série 1 e para os TB1, TB2 e TB3, para UHE Três Marias.

Para apresentação dos resultados de forma mais detalhada uma das combinações de método foi selecionada. Para essa escolha será avaliado o valor do *RMSE* (Tabela 4.36). A combinação que apresentou a menor média do *RMSE* foi a d.e.s. para TB2 (Tabela 4.36), ou seja, os valores estimados se aproximaram mais das vazões com tempo de retorno (T) maior ou igual a 10 anos.

Tabela 4.36 - Raiz do Erro Quadrático Médio (*RMSE**) das vazões estimadas pelo método HMMP, para UHE Três Marias.

Séries	d.e.s.			r.l.s.		
	TB1**	TB2**	TB3**	TB1**	TB2**	TB3**
Série 1	732	299	966	788	265	901
Série 2	474	496	1.304	484	479	1.295
Série 3	739	320	1.002	834	278	964
Série 4	1.547	652	267	1.878	930	297
Série 5	1.377	574	330	1.667	817	251
Série 6	1.463	571	383	1.742	804	253
Série 1_vmin_20	732	299	966	822	257	875
Série 1_vmaj_20	700	314	1.001	787	265	901
Média	970	441	777	1.125	512	717
Soma	7.763	3.525	6.219	9.001	4.096	5.737

*Valores dos desvios calculados para as vazões com tempo de retorno (T) maior ou igual a 10 anos;

**TB: tempo de base com valores TB1=130 dias, TB2=170 dias e TB3=210 dias.

4.3.3.1 Método do HMMP ajustado pela d.e.s. para TB2

O método do HMMP foi aplicado para estimar as vazões máximas de projeto e para obtenção do hidrograma de projeto. Para determinação dos TB s foram plotados os hidrogramas dos três maiores picos de vazão registrados nas bacias, que ocorreram nos anos hidrológicos de 1982-1983 com 7.245 m³/s, 1996-1997 com 6.762 m³/s e 1991-1992 com 6.040 m³/s (Figura 4.43). Os tempos de base estimados foram $TB1=130$ dias, $TB2=170$ dias e $TB3=210$ dias.

Figura 4.43 - Hidrogramas dos anos hidrológicos de 1982-1983, 1996-1997 e 1991-1992 e vazão máxima de longo termo (Q_{MLT}) na UHE Três Marias.

Na Figura 4.44 é apresentado o intervalo de determinação do valor do $TB2$. Foram levados em consideração o número de dias do hidrograma correspondente à vazão de pico, em que os valores registrados se mantêm acima da vazão média de longo termo (Q_{MLT}), e o maior intervalo de tempo durante o qual estas vazões se mantêm acima da Q_{MLT} (Figura 4.44).

Figura 4.44 - Hidrograma do ano hidrológico de 1996-1997, vazão média de longo termo (Q_{MLT}) e determinação do $TB2$ na UHE Três Marias.

Os ajustes da d.e.s. para os distintos *TBs* foram plotados na Figura 4.45. Os parâmetros resultantes desses ajustes foram apresentados na Tabela 4.33, e as vazões de projeto estimadas pelo método HMMP para a Série 1 pela d.e.s. são apresentadas na Tabela 8.13 (Apêndice IV). Os parâmetros estimados pela d.e.s. para a Série 1 com *TB2* foram Q_B de 737 m³/s e G_0 de 401 m³/s (Tabela 4.33). Para esse ajuste três dos valores para *T* maior que 10 anos apresentaram estimativas menores que os valores observados. Para as vazões com *T* menor que 10 anos, o método do HMMP, indica que sejam realizados ajustes com distribuições estatísticas (AFL) e os valores comparados com o método HMMP, e devem ser usadas as maiores estimativas entre a AFL e o HMMP. As distribuições d.e.s. e r.l.s. não produzem bons resultados para o intervalo de valores com *T* menor que 10 anos como se pode observar na Figura 4.45. As curvas ajustadas para a d.e.s. com *TB2* para a Série 1 e subséries são plotadas na Figura 8.14 (Apêndice IV).

Figura 4.45 - Ajustes das séries de médias máximas anuais e vazões de pico (*QP*) considerando o modelo HUC Mockus, para os ajustes da Série 1 pela d.e.s., na UHE Três Marias.

Com relação aos valores observados as vazões estimadas apresentaram variação positiva para os ajustes realizados pela d.e.s. e *TB2* para as Séries 4, 5 e 6, superestimando os valores em até cerca de 20% (Figura 4.46). A Série 2 é a que apresenta os piores resultados em relação aos dados observados chegando a valores 13% menores (Figura 4.46). As demais subséries, Série 1, 3, *vmin_20* e *vmaj_20* tiveram comportamentos semelhantes estimando valores entre 4% e -9% das vazões observadas (Figura 4.46). Constata-se também que mesmo a Série 4 tendo menos valores significativos (valores observados com *T* maior que 10 anos) do que as Séries 5 e 6, os seus valores estimados são maiores (Figura 4.46). Esse fator indica uma menor dependência do método à presença dos valores significativos. As variações não apresentam uma tendência de aumentar conforme o *T* aumenta. As Séries 1, 3, *vmin_20* e

vmaj_20 estimam o valor exato da vazão máxima naturalizada ($Q_{m\acute{a}x}$) de 7.245 m³/s registrada no ano hidrológico 1982-1983.

Figura 4.46 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados na UHE Três Marias, pelo método da HMMP utilizando o ajuste da Série 1 pela d.e.s. para TB2.

4.3.3.2 Determinação do hidrograma de projeto

Definida a vazão de pico (Q_P) de 14.570 m³/s para a UHE Três Marias pela d.e.s. e TB2 ajustados a Série 1, esse valor será utilizado para obtenção do hidrograma de projeto. Utilizando as ordenadas do hidrograma de Mockus (Tabela 3.3) e o valores TB2= 170 dias, são calculados o tempo de pico de 34 dias e a vazão excedente de 13.833 m³/s, o HUC usando TB2 é plotado na Figura 4.47, sendo Q_{OM} a vazão média do hidrograma.

Figura 4.47 - Hidrograma de projeto na UHE Três Marias com base no HUC (T=10.000 anos), para a Série 1 ajustada pela d.e.s. para TB2.

As relações entre picos e médias (k^*) serão avaliadas para definição do hidrograma-padrão, outra forma de obter o hidrograma de projeto para a localidade. Para a escolha do hidrograma-padrão os conceitos do hidrograma de Mockus de que os hidrogramas mais significativos e prováveis de ocorrer são os que apresentam para a bacia os valores calculados para k^* em torno de 3,7453, sendo essa relação utilizada para o cálculo das Q_P .

Para as três maiores vazões registradas na bacia os hidrogramas dos anos hidrológicos foram plotados (Figura 4.43) e analisados em termos da Q_P , Q_B e das vazões máximas com TB correspondentes a esses anos hidrológicos. O hidrograma que apresentou a maior relação k^* corresponde ao ano hidrológico de 1996-1997 com $TB3$ (Tabela 4.37). Esse hidrograma deveria ser selecionado por apresentar uma condição mais crítica. No entanto, pelo critério utilizado para escolha do método que mais se adequou para determinação da Q_P , o menor valor do $RMSE$, o valor do TB escolhido para o hidrograma do ano hidrológico de 1996-1997 foi o $TB2$. A relação k^* correspondente ao ano hidrológico de 1996-1997 para o $TB2$ apresenta um valor maior que $k = 3,7453$ definido por Mockus como valor mais provável para as relações pico/média (Tabela 4.37). Os hidrogramas de projeto para as cheias de projeto com T de 1.000 e 10.000 anos de dados, baseados no hidrograma-padrão de 1996-1997 são plotados na Figura 4.48.

Tabela 4.37 - Relações observadas entre picos e médias, UHE Três Marias.

Anos de Cheia	Q_P (m³/s) observada	Q_B (m³/s) observada	Vazão Média Q_{TB1} (m³/s)	k^* $TB1$	Vazão Média Q_{TB2} (m³/s)	k^* $TB2$	Vazão Média Q_{TB3} (m³/s)	k^* $TB3$
82-83	7.245	336	2.715	2,90	2.376	3,39	2.091	3,94
96-97	6.762	110	1.869	3,78	1.639	4,35	1.435	5,02
91-92	6.040	227	1.857	3,57	1.571	4,32	1.361	5,13

Figura 4.48 - Hidrogramas de projeto na UHE Três Marias com base na cheia 1996-1997, para a Série 1 ajustada pela d.e.s. para $TB2$.

Os valores das vazões correspondentes as cheias determinados pelo d.e.s. para *TB2* e ajustado a Série 1 foram $Q_{10.000}$ de 14.570 m³/s e $Q_{1.000}$ de 11.112 m³/s. As maiores dificuldades encontradas na aplicação do método do HMMP foram na definição dos tempos de base (*TB*). O método HMMP apresentou menores variações (*DM*) dentre as combinações do que a AFL. Dentre os métodos AFL, AFC e HMMP, o HMMP foi o único que não apresentou nenhuma vazão decamilenar abaixo da $Q_{m\acute{a}x}$.

4.4 Estação Fluviométrica Paso de Los Libres

O Estudo de Inventário Hidroelétrico da Bacia do Rio Uruguai no Trecho compartilhado entre Argentina e Brasil (CNEC/ESIN/PROA, 2010) foi utilizado como base para obtenção das informações acerca da bacia. As estações fluviométricas utilizadas como base para o estudo de vazões máximas no inventário também foram analisadas, são elas: Paso de Los Libres, Garruchos, San Javier e El Soberbio. No entanto, apenas as séries de vazões máximas anuais da localidade de Paso de Los Libres foram aceitas segundo os pressupostos necessários para as análises, de aleatoriedade, independência, homogeneidade, e estacionariedade dos dados. O ano hidrológico na bacia corresponde ao ano civil iniciando no mês de janeiro.

Na análise da estação fluviométrica Paso de Los Libres são utilizadas duas séries diferentes sendo denominada Série 1, vazões máximas anuais obtidas no inventário da Bacia Hidrográfica (BH) do rio Uruguai (CNEC/ESIN/PROA, 2010), e Série 1_SSRH, obtida na base de dados da Subsecretaria de Recursos Hídricos da Argentina (SSRH, 2013). As séries completas (Série 1 e Série 1_SSRH) e as subséries obtidas a partir delas são apresentadas nas Tabela 8.3 e Tabela 8.4 do Apêndice I. O método AFL é aplicado para as Serie 1 e Serie 1_SSRH e para as subséries. Para a aplicação do método HMMP apenas a Série 1_SSRH e subséries_SSRH são utilizadas.

A estação Paso de Los Libres possui uma área de drenagem de 191.490 km². A vazão de projeto estimada pelo método estatístico, pelo ajuste da distribuição Log-Pearson III, definiu a vazão decamilenar igual a 65.257 m³/s, a distribuição Log-Pearson III foi escolhida porque, segundo o estudo: “apresenta uma variação mais uniforme das vazões decamilenares com relação a outras distribuições” (CNEC/ESIN/PROA, 2010). A série de máximos apresentada no inventário (CNEC/ESIN/PROA, 2010), aqui denominada Série 1, foi utilizada na análise da AFL para as mesmas distribuições estatísticas utilizadas no inventário: exponencial (EXP), Log-Pearson III (LPIII) e Gumbel (Extremos Tipo I – EVI).

Para a localidade de Paso de Los Libres foram utilizadas duas séries de máximas vazões médias anuais. A Série 1 utilizada no inventário (CNEC/ESIN/PROA, 2010), e a Série 1_SSRH obtida a partir da série de vazões diárias (Figura 4.49) disponibilizada no banco de dados da Subsecretaria de Recursos Hídricos da Argentina (SSRH, 2013). A série de vazões diárias compreende o período de 1908 a 2012, compreendendo 105 anos de dados, sendo 69 anos sem nenhuma falha e 37 anos com pelo menos 1 dia de falha. No ano de 1920 não existe nenhum registro de vazão, o ano de 1969 apresenta o maior período de falhas com 80 dias, e os anos de 1932 e 1966 apresentam 61 dias de falhas, os demais anos que apresentaram falhas tiveram menos que 38 dias sem vazão registrada. Não foi realizado o preenchimento de falhas para a série, o ano hidrológico de 1920 não foi utilizado nas análises. Para a análise da AFL apenas o valor máximo de cada ano foi utilizado. Na aplicação do HMMP será utilizada a série de vazões diárias para obtenção das vazões médias para os *TBs*.

Para esta localidade foram utilizadas as duas séries de máximos anuais, Série 1 e Série 1_SSRH (Figura 4.50). As análises foram aplicadas a Série 1 com o intuito de realizar as análises para a mesma série de dados utilizada no inventário (CNEC/ESIN/PROA, 2010) e comparar os resultados com os valores obtidos para a cheia de projeto. A Série 1_SSRH possui um número maior de dados do que a Série 1, com mais 26 anos de dados. Além disso, essa série foi obtida das séries de vazões médias diárias, necessária para aplicação do método HMMP.

Figura 4.49 - Fluviograma para a estação Fluviométrica Paso de Los Libres (1908 a 2012).

A Série 1 obtida no estudo de vazões máximas do inventário utilizou as informações de altura (nível) e vazão para ajuste da curva chave (CNEC/ESIN/PROA, 2010), apresentada na Figura 4.51. E a Série 1_SSRH foi obtida dos dados de vazões diárias médias

disponibilizadas no banco de dados da SSRH (SSRH, 2010), não sendo apresentada a curva chave utilizada para obtenção das vazões.

Figura 4.50 - Séries de vazões diárias máximas anuais para a estação fluviométrica Paso de Los Libres.

Figura 4.51 - Relação entre a altura e a vazão para a localidade de Paso de Los Libres (CNEC/ESIN/PROA, 2010).

Tabela 4.38 - Estatísticas descritivas das séries completas (Série 1 e Série 1_SSRH) e subséries de vazões diárias máximas anuais (m³/s), em Paso de Los Libres.

Séries	Ano início fim	Nº de dados	Máx. (m³/s)	Mín. (m³/s)	Média (m³/s)	DP (m³/s)	CS	Quartil (m³/s)		
								1º (0,25)	2º (0,50)	3º (0,75)
Série 1	1931 2007	77	35.075	2.369	16.855	6.510	0,61	12.588	15.432	20.708
Série 2	1931 1971	40	31.168	7.189	15.881	5.428	0,79	12.113	14.749	18.735
Série 3	1941 1981	40	31.168	2.369	15.525	5.830	0,57	12.113	14.861	18.499
Série 4	1951 1991	40	35.075	2.369	17.057	6.638	0,50	13.423	15.382	21.317
Série 5	1961 2001	40	35.075	2.369	17.698	7.288	0,43	13.378	15.730	22.486
Série 6	1968 2007	40	35.075	2.369	17.505	7.320	0,45	13.378	15.730	22.486
Série 1_s_outlier	1931 2007	76	35.075	6.122	17.045	6.333	0,74	12.856	15.432	20.843
Série 1_vmin_20	1931 2007	76	35.075	4.898	16.991	6.427	0,66	12.856	15.432	20.843
Série 1_vmaj_20	1931 2007	76	35.075	7.347	17.100	6.251	0,80	12.856	15.432	20.843
Série 1_SSRH	1909 2012	103	38.256	3.039	17.234	6.602	0,86	12.978	15.179	21.444
Série 2_SSRH	1909 1948	40	33.239	3.039	16.939	6.782	0,56	12.209	16.513	19.872
Série 3_SSRH	1928 1967	40	33.239	7.618	16.323	6.129	1,01	11.963	14.626	18.947
Série 4_SSRH	1948 1987	40	38.256	6.593	16.852	6.328	1,20	13.074	14.879	21.373
Série 5_SSRH	1961 2001	40	38.256	6.593	18.235	7.303	0,97	13.276	15.243	22.504
Série 6_SSRH	1968 2007	40	38.256	6.593	17.976	7.164	1,03	13.276	15.243	21.831
Série 7_SSRH	1931 2007	77	38.256	6.593	17.090	6.722	1,07	12.852	14.929	21.302
Série 1_s_outlier_SSRH	1909 2012	102	38.256	6.593	17.373	6.481	0,96	13.028	15.243	21.515
Série 1_vmin_20_SSRH	1909 2012	102	38.256	5.275	17.330	6.552	0,89	13.028	15.243	21.515
Série 1_vmaj_20_SSRH	1909 2012	102	38.256	7.912	17.417	6.418	1,01	13.028	15.243	21.515

DP: Desvio Padrão; CS: Coeficiente de Assimetria.

As séries de vazões utilizadas nas análises para a estação fluviométrica Paso de Los Libres variaram em tamanho de 103 anos de dados (Série 1_SSRH) a 40 anos de dados (subséries). As características estatísticas de todas as séries apresentaram valores semelhantes para a média e o desvio padrão, bem como para os quartis amostrais (Tabela 4.38). As séries completas (Série 1 e Série 1_SSRH) apresentam grande variabilidade ao longo de todo o período que compreendem (Figura 4.50). No ano hidrológico de 1978 as séries apresentam valores distintos, sendo a vazão da Série 1 de 2.369 m³/s e da Série 1_SSRH de 15.091 m³/s

(Figura 4.50 e no Anexo IV as Tabela 9.8 e Tabela 9.9). O local do estudo não possui CMP definida. A vazão máxima registrada ($Q_{m\acute{a}x}$) de 38.256 m³/s ocorreu no ano hidrológico 1983, para a Série 1_SSRH. Pelo teste de Grubbs e Beck as Série 1 e Série_SSRH possuem pontos atípicos no limite inferior sendo considerados *outliers* os valores de vazão de 2.369 m³/s para a Série 1 e 3.039 m³/s para a Série 1_SSRH. Os coeficientes de assimetria apresentaram valores positivos para todas as séries conforme esperado para séries de vazões diárias máximas anuais que tendem a ter histogramas com assimetria positiva (Tabela 4.38).

4.4.1 AFL

A aplicação da análise de frequência local (AFL) para a estação fluviométrica Paso de Los Libres será realizada para a Série 1 e a Série 1_SSRH e suas subséries (ver Tabela 8.3 e Tabela 8.4 no Apêndice IV). As análises realizadas buscam um comparativo com os procedimentos utilizados no Inventário da Bacia do Rio Uruguai (CNEC/ESIN/PROA, 2010), no qual foram utilizadas as distribuições EV1, LPIII e EXP. Por essa razão o método AFL será testado apenas para estas distribuições. No inventário dentre as três distribuições a LPIII foi a escolhida (CNEC/ESIN/PROA, 2010).

As distribuições foram ajustadas para todas as séries e subséries utilizando os momentos biased (B) e unbiased (UB) e os métodos de estimação de parâmetros da máxima verossimilhança (MV), método dos momentos (MM) e método dos momentos ponderados (MP). Os erros padrão (*EP*) foram calculados a partir da média dos erros padrão para as vazões estimadas para os tempos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos. A distribuição LPIII obteve os maiores *EP* e o *EP* de 3.855 m³/s foi o menor calculado e corresponde à distribuição EV1 para a combinação B-MV-EV1 pelas séries do SSRH (Tabela 4.39).

Tabela 4.39 - Métodos estatísticos selecionados para o estudo da AFL, através da avaliação do erro padrão médio (*EP*) e dos testes de aderência, em Paso de Los Libres.

Séries	Métodos	<i>EP</i> ** (m ³ /s)	Qui-Quadrado***	Kolmogorov-Smirnov***
Inventário	B e UB-MV-EV1	4.412	Aceito	Aceito
	B-MM-LPIII	9.755	Aceito	Aceito
	B-MP-EXP	7.405	Aceito	Rejeitado
SSRH	B e UB-MV-EV1	3.855	Aceito	Aceito
	B e UB-MV-LPIII	12.710	Aceito	Aceito
	B-MP-EXP	7.055	Aceito	Rejeitado

*EP calculado pela média dos erros padrão para as vazões estimadas para os tempos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos; ***Nível de significância de 5%.

As curvas das distribuições selecionadas para o estudo da AFL (Tabela 4.39), ajustadas para a Série 1 e a Série 1_SSRH, foram plotadas na Figura 4.52. Para a subséries as

curvas são apresentadas nas Figura 8.8 e Figura 8.9 do Apêndice II. A distribuição LPIII ajustada para a Série 1 subestimou todos os valores com T correspondentes aos registros observados (Figura 4.52) e é a distribuição que possui os menores valores estimados para o ajuste da Série 1. A distribuição LPIII apresentou uma vazão decamilenar de $Q_{10.000}$ de 42.836 m³/s para a Série 1 e 68.431 m³/s para a Série 1_SSRH, com diferença de 60% entre os valores. A diferença entre as séries ocorre para o número de dados, com a Série 1 compreendendo 77 anos de dados e a Série 1_SSRH com 26 anos a mais, totalizando 103 anos de dados.

Outra constatação é de que os melhores resultados do *EP* ocorrem para combinações diferentes dos métodos, sendo B-MM-LPIII para a Série 1, e para a Série 1_SSRH a combinação B e UB-MV-LPIII. A distribuição EXP estimou os maiores valores tanto pela Série 1 quanto pela Série 1_SSRH. A distribuição EV1 também apresenta estimativas bem próximas para as duas séries, assim como a EXP. Os parâmetros ajustados são apresentados na Tabela 4.40.

Figura 4.52 - Vazões estimadas pelas distribuições ajustadas utilizando a Série 1 e a Série 1_SSRH, em Paso de Los Libres.

As $Q_{10.000}$ estimadas possuem diferença máxima de 115%, considerando todos os ajustes, diminuindo para 17% quando consideradas apenas as estimadas pelo método EV1 para a Série 1_SSRH (Tabela 4.41). Nenhuma das $Q_{10.000}$ possui valor menor que a vazão máxima ($Q_{máx}$) de 38.256 m³/s registrada no ano hidrológico 1983, a menor estimativa foi realizada pela LPIII utilizando a Série 3, cujo valor é 41.152 m³/s (Tabela 4.41).

Tabela 4.40 - Parâmetros das distribuições selecionadas para o estudo da AFL para a Série 1, Série 1_SSRH e subséries de vazões diárias máximas anuais (m³/s) em Paso de Los Libres.

	Métodos	Parâmetros	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Série 5	Série 6	Série 7	Série 1 s_outlier	Série 1 vmin_20	Série 1 vmaj_20
Inventário	B-MV	u	13.810	13.404	12.789	13.918	14.248	14.046	**	14.247	14.002	14.247
	-EV1*	α	5.571	4.315	5.232	5.980	6.412	6.394	**	4.844	5.334	4.844
	B-MM	γ	11,22	12,46	11,06	10,97	10,86	10,88	**	12,27	11,42	12,27
	-LPIII	α	-0,107	-0,041	-0,105	-0,134	-0,179	-0,180	**	-0,053	-0,089	-0,053
		β	14,70	69,03	14,09	9,76	6,57	6,67	**	48,85	19,69	48,85
	B-MP	η	9.770	10.111	9.395	10.020	9.838	9.624	**	10.313	9.997	10.312
SSRH	-EXP	α	7.085	5.771	6.129	7.036	7.860	7.881	**	6.787	6.993	6.787
	B-MV	u	14.226	13.772	13.607	14.075	14.985	14.801	14.113	14.459	14.357	14.552
	-EV1*	α	5.325	5.801	4.514	4.693	5.461	5.346	4.943	4.922	5.163	4.746
		γ	-2,41E+06	***	7,48	***	***	***	6,26	3,51	***	7,96
	B-MV	α	0,00E+00	***	0,06	***	***	***	0,04	0,02	***	0,07
	-LPIII*	β	3,80E+13	***	37,20	***	***	***	84,15	297,41	***	24,91
	B-MP	η	10.125	9.680	9.901	10.352	10.610	10.525	9.978	10.403	10.277	10.528
	-EXP	α	7.109	7.259	6.422	6.500	7.626	7.452	7.112	6.970	7.053	6.888

*Mesmo resultado utilizando os momentos biased (B) e unbiased (UB); **Série não existente; ***O ajuste não convergiu.

Tabela 4.41 - Vazões (m³/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pelo método AFL, diferença percentual máxima (DM) entre as vazões inferidas e relações com a $Q_{Projeto}$ e com a $Q_{máx}$, em Paso de Los Libres.

Séries	EV1	EXP	LPIII	Séries	EV1	EXP	LPIII
Série 1	65.118	75.022	46.447	Série 1_SSRH	63.276	75.603	68.431
Série 2	53.148	63.259	45.040	Série 2_SSRH	67.203	76.542	*
Série 3	60.973	65.849	41.152	Série 3_SSRH	55.181	69.048	73.690
Série 4	68.994	74.828	44.036	Série 4_SSRH	57.298	70.223	*
Série 5	73.306	82.235	44.523	Série 5_SSRH	65.286	80.844	*
Série 6	72.938	82.210	44.812	Série 6_SSRH	64.039	79.159	*
				Série 7_SSRH	59.643	75.479	75.728
Série 1 s_outlier	58.866	72.825	50.900	Série 1 s_outlier_SSRH	59.796	74.601	67.702
Série 1 vmin_20	63.129	74.407	47.745	Série 1 vmin_20_SSRH	61.911	75.239	*
Série 1 vmaj_20	58.866	72.825	50.900	Série 1 vmaj_20_SSRH	58.267	73.971	81.803
DM	38%	30%	24%	DM	22%	17%	21%
$N_{VALORES} > Q_{Projeto}^{**}$	3	8	-	$N_{VALORES} > Q_{Projeto}^{**}$	2	10	5
$N_{VALORES} < Q_{máx}$	-	-	-	$N_{VALORES} < Q_{máx}$	-	-	-

*O ajuste não convergiu; **Cheia de projeto = 65.257 m³/s; ***Vazão Máxima ($Q_{máx}$) = 38.256 m³/s no ano hidrológico 1983.

As análises realizadas para o método AFL utilizando as séries desta localidade apresentaram grande variabilidade para a distribuição LPIII, contrapondo a justificativa apresentada no inventário de que essa distribuição apresenta menor variabilidade (Tabela 4.42). Pelas análises de estabilidade e sensibilidade ao tamanho da amostra do método AFL para a LPIII as DM são de 79% e 84%, respectivamente (Tabela 4.42). Essa distribuição

apresenta variação expressiva também para influência dos menores valores nas vazões estimadas, sendo calculada uma diferença de 21% entre as Série 1_s_outlier e Série 1_vmaj_20_SSRH. Para ambas o valor da vazão do *outlier* foi retirado (Tabela 4.42).

Para a análise da sensibilidade a presença de pontos atípicos e aos menores valores majorados em 20% a distribuição EV1 possui as maiores *DM*. O desempenho da distribuição é melhor em termos tanto do *EP* (Tabela 4.41), como das *DM* (Tabela 4.42) sendo 5% maiores apenas para a estabilidade e sensibilidade da amostra em relação a distribuição EV1.

Tabela 4.42 - Diferença percentual máxima (*DM*) entre as vazões decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas pelo método AFL e para as diferentes análises, em Paso de Los Libres.

Análises	EV1	EXP	LPIII
Estabilidade do método	38%	30%	79%
Tamanho da amostra	38%	30%	84%
Presença de pontos atípicos	11%	3%	10%
Menores valores (minorados 20%)	7%	2%	7%
Menores valores (majorados 20%)	3%	1%	21%

A comparação das vazões estimadas com os registros da Série 1_SSRH possui variações entre -6% e 13% (Figura 4.53). As estimativas para os valores de T maiores superestimam as vazões observadas, o que dificilmente ocorre quando se trata da utilização da AFL. A distribuição EXP apresenta o melhor desempenho dentre as distribuições.

Figura 4.53 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados pelo método da AFL utilizando as distribuições selecionadas e a estimativa pela Série 1_SSRH de Paso de Los Libres.

A análise de forma detalhada será apresentada para a distribuição LPIII por ter sido a distribuição escolhida no Estudo de Inventário Hidroelétrico da Bacia do Rio Uruguai no Trecho compartilhado entre Argentina e Brasil (CNEC/ESIN/PROA, 2010) para a determinação da vazão de projeto, estimando o valor da vazão decamilenar em 65.257 m³/s.

4.4.1.1 Distribuição Log-Pearson III

A distribuição LPIII, pertencente a família Gama de distribuições, e possui grande número de aplicações no estudo de vazões máximas (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Os três parâmetros γ , α e β e a equação da função densidade de probabilidade são apresentados no Quadro 2.4. A distribuição LPIII foi ajustada para as Serie 1 e Série 1_SSRH e subséries e para as combinações de métodos estatísticos (Tabela 4.43). O ajuste dos parâmetros pelo método da máxima verossimilhança (MV) produziram os mesmos resultados pelo momento biased (B) e unbiased (UB) e não convergiram para muitas das subséries utilizadas (Tabela 4.43).

Tabela 4.43 - Parâmetros da distribuição probabilística LPIII, para Paso de Los Libres.

		Série 1	Série 2	Série 3	Série 4	Série 5	Série 6	Série 7	Série 1 s_outlier	Série 1_ vmin_20	Série 1_ vmaj_20
Inventário	B e	γ -1,04E+04	-5,00E+03	*	*	*	*	**	-9,02E+05	-8,52E+03	2,90
	UB-	α 1,80E-05	2,20E-05	*	*	*	*	**	0,00E+00	1,80E-05	0,02
	MV	β 5,93E+08	2,24E+08	*	*	*	*	**	5,88E+12	4,71E+08	362,12
	B-	γ 11,223	12,456	11,063	10,974	10,862	10,876	**	12,269	11,420	12,269
	MM	α -0,107	-0,041	-0,105	-0,134	-0,179	-0,180	**	-0,053	-0,089	-0,053
		β 14,702	69,033	14,092	9,756	6,569	6,674	**	48,854	19,694	48,854
	B-	γ 9,946	9,808	9,797	9,898	9,947	9,938	**	9,948	9,947	9,948
	MP	α -1,213	-7,655	-7,149	-6,821	-5,763	-5,627	**	-1,084	-1,169	-1,018
		β 0,243	0,025	0,032	0,036	0,046	0,048	**	0,251	0,240	0,260
	UB-	γ 11,246	12,675	11,103	11,000	10,880	10,895	**	12,354	11,452	12,354
	MM	α -0,106	-0,039	-0,105	-0,135	-0,181	-0,182	**	-0,052	-0,088	-0,052
		β 14,979	78,564	14,554	9,941	6,618	6,737	**	51,612	20,206	51,612
	UB-	γ 11,277	37,341	10,588	10,609	10,788	10,774	**	2,753	12,226	2,753
	MP	α -0,106	-0,004	-0,170	-0,207	-0,206	-0,212	**	0,019	-0,061	0,019
		β 15,373	6,507	6,006	4,601	5,371	5,217	**	360,535	42,269	360,535
SSRH	B e	γ -2,41E+06	*	7,48	*	*	*	6,26	3,51	*	7,96
	UB-	α 0	*	0,06	*	*	*	0,04	0,02	*	0,07
	MV	β 3,80E+13	*	37,20	*	*	*	84,15	297,41	*	24,91
	B-	γ 12,422	11,053	14,591	113,000	13,017	13,850	15,172	13,924	12,824	15,623
	MM	α -0,055	-0,132	-0,027	-0,001	-0,049	-0,038	-0,027	-0,033	-0,046	-0,022
		β 49,766	10,620	180,843	82,691	67,551	110,059	201,707	129,984	67,838	266,157
	B-	γ 10,023	9,896	9,841	9,869	9,959	9,944	9,968	10,029	10,025	10,033
	MP	α -0,639	-5,842	-5,651	-6,168	-5,023	-5,239	-0,843	-0,568	-0,616	-0,531
		β 0,535	0,042	0,036	0,032	0,044	0,042	0,347	0,583	0,542	0,620
	UB-	γ 12,491	11,086	15,360	-39,110	13,305	14,340	15,617	14,112	12,920	16,020
	MM	α -0,054	-0,132	-0,024	0,003	-0,045	-0,034	-0,025	-0,031	-0,045	-0,021
		β 51,954	10,890	237,225	18,136	78,594	135,499	233,720	140,878	71,554	300,988
	UB-	γ 18,911	11,085	7,594	7,169	7,144	6,567	7,587	6,505	-8,348	7,848
	MP	α -0,016	-0,135	0,065	0,051	0,059	0,048	0,068	0,041	0,008	0,068
		β 574,848	10,665	31,328	48,669	43,865	66,250	30,676	77,109	2,321	27,252

*O ajuste não convergiu; ** Série não existente.

Após os parâmetros da distribuição LPIII serem calculados, os valores das vazões decamilenares ($Q_{10.000}$) foram estimados (Tabela 4.44 e Tabela 4.45). Os piores resultados para as DM ocorrem para as estimativas pela combinação UB-MP (Tabela 4.44 e Tabela 4.45). Utilizando as Série 1 e subséries ajustadas pelo método B-MP-LPIII todas as vazões estimadas possuem valores menores que a vazão máxima ($Q_{m\acute{a}x}$) ocorrida no ano hidrológico de 1983 com 38.256 m³/s, e o teste de aderência não foi aceito ou não convergiu para um resultado, para todas as subséries utilizadas (Tabela 4.44). Com isso ressalta-se a importância de serem realizados os testes de aderência dos ajustes sendo uma ferramenta útil para indicar a adequação da distribuição aos dados utilizados.

Tabela 4.44 - Vazões (m³/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pela distribuição LPIII, diferença percentual máxima (DM) entre as vazões inferidas e relações com a $Q_{Projeto}$ e com a $Q_{m\acute{a}x}$, para série do inventário, em Paso de Los Libres.

Séries	B e UB-MV	B-MM	B-MP	UB-MM	UB-MP	DM
Série 1	76.195	46.447	20.873	46.871	47.403	265%
Série 2	52.220	45.040	16.788	45.966	52.956	215%
Série 3	***	41.152	17.710	41.844	35.150	136%
Série 4	***	44.036	19.778	44.704	37.720	126%
Série 5	***	44.523	20.898	45.112	43.377	116%
Série 6	***	44.812	20.711	45.434	43.021	119%
Série 1 s_outlier	63.464	50.900	20.916	51.464	67.741	226%
Série 1_vmin_20	68.157	47.745	20.906	48.213	53.093	224%
Série 1_vmaj_20	65.556	50.900	20.925	51.464	67.741	265%
DM	46%	24%	25%	23%	93%	
$N_{VALORES > Q_{Projeto}}$	3	-	-	-	2	
$N_{VALORES < Q_{m\acute{a}x}}$	-	-	9	-	2	
EP^{****}	4.841.772	9.755	-	10.045	-	

*Cheia de projeto = 65.257 m³/s; **Vazão Máxima ($Q_{m\acute{a}x}$) = 38.256 m³/s no ano hidrológico 1983; ***O ajuste não convergiu; ****EP calculado pela média dos erros padrão para as vazões estimadas para os tempos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos.

A combinação que apresentou a menor DM utilizando a LPIII foi a B e UB-MV com 21% e a que obteve o menor EP foi a B-MM (Tabela 4.44 e Tabela 4.45). Para a distribuição B-MM-LPIII, selecionada por apresentar o menor EP , foi plotada a curva ajustada utilizando a Série 1 e os intervalos de confiança que delimitam a região em que os valores estimados têm 95% de probabilidade de ocorrer (Figura 4.54).

A estabilidade do método AFL apresentou DM de 11% para a combinação B-MM-LPIII como pode ser deduzido da Figura 4.55. No entanto, o valor estimado pela Série 3 38.116 m³/s é menor do que o maior valor observado registrado na Série 1_SSRH (Figura 4.55). Quanto ao tamanho da amostra, a DM foi de 12% entre a Série 1 e a Série 3 (Figura

4.55), essa foi a análise que apresentou a maior variação para a LPIII para a Série 1 e subséries do inventário. A retirada do limite inferior da Série 1, considerado um *outlier* pelo teste de Grubbs e Beck resultou em um aumento de 7% entre o valor estimado pela Série 1 s_outlier e Série 1 (Figura 4.56). A minoração dos três menores valores implicou em uma diminuição de 5% na $Q_{10.000}$ e a majoração em 20% não influenciou na estimativa da $Q_{10.000}$ (Figura 4.56).

Tabela 4.45 - Vazões (m³/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pela distribuição LPIII, diferença percentual máxima (DM) entre as vazões inferidas e relações com a $Q_{Projeto}$ e com a $Q_{máx}$, para série da SSRH, em Paso de Los Libres.

Séries	B e B-MV	B-MM	B-MP	UB-MM	UB-MP	DM
Série 1_SSRH	68.431	54.026	22.536	54.493	62.624	204%
Série 2_SSRH	***	45.585	19.841	46.345	46.613	135%
Série 3_SSRH	73.690	53.578	18.713	54.896	79.195	323%
Série 4_SSRH	***	59.802	19.104	61.395	75.037	293%
Série 5_SSRH	***	60.869	21.147	62.374	94.019	345%
Série 6_SSRH	***	61.526	20.808	63.093	87.019	318%
Série 7_SSRH	75.728	59.722	21.344	60.511	87.254	309%
Série 1 s_outlier_SSRH	67.702	56.262	22.667	56.779	75.362	232%
Série 1_vmin_20_SSRH	***	54.828	22.576	55.315	67.313	198%
Série 1_vmaj_20_SSRH	81.803	57.312	22.746	57.852	82.752	264%
DM	21%	35%	22%	36%	102%	
$N_{VALORES > Q_{Projeto}}$ *	5	-	-	-	8	
$N_{VALORES < Q_{máx}}$ **	-	-	10	-	-	
EP****	12.710	13.998	-	14.166	-	

*Cheia de projeto = 65.257 m³/s; **Vazão Máxima ($Q_{máx}$) = 38.256 m³/s no ano hidrológico 1983; ***O ajuste não convergiu; ****EP calculado pela média dos erros padrão para as vazões estimadas para os tempos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos.

Figura 4.54 - Vazões estimadas pela combinação B-MM-LPIII ajustada para a Série 1, em Paso de Los Libres.

As estimativas pelas Séries 5 e 6 produziram os melhores valores em relação às vazões observadas, chegando a estimativas menores que apenas 3% dos valores observados (Figura 4.57). As subséries que apresentaram as maiores variações com valores chegando a 18% menos que os valores observados, foram, as Série 2 e 3 (Figura 4.57).

A análise da aplicação do método AFL pela distribuição LPIII apresentou grande variação entre as vazões estimadas, e os resultados evidenciaram a dependência dos valores aos métodos de estimação dos parâmetros e aos momentos B e UB, como um fator preocupante por apresentar grandes discrepâncias. As demais distribuições EXP e EV1 apresentaram comportamento semelhante, mas com proporções diferentes, como pode ser observado nas curvas ajustadas apresentadas nas Figura 8.8 e Figura 8.9 do Apêndice II.

A definição de qual distribuição apresenta melhor adequação aos dados é de difícil determinação mesmo com os elementos apresentados, *DM*, *EP*, curvas ajustadas, comparação com a $Q_{m\acute{a}x}$ e com os valores observados, avaliar e decidir qual das combinações de método utilizar não é trivial, dada a variação nos resultados.

Figura 4.55 - Vazões estimadas (m³/s) pelo método da AFL utilizando a combinação B-MM-LPIII, para as subséries utilizadas na análise da estabilidade do método e da sensibilidade ao tamanho da amostra, em Paso de Los Libres.

Figura 4.56 - Vazões estimadas pelo método da AFL utilizando a combinação B-MM-LPIII, para as subséries utilizadas na análise da sensibilidade a presença de *outlier* e da influência dos menores valores, em Paso de Los Libres.

Figura 4.57 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados (m^3/s) pelo método da AFL utilizando a combinação B-MM-LPIII, para Paso de Los Libres.

4.4.2 HMMP

A aplicação do HMMP foi realizada para a série de vazões diárias obtidas do banco de dados da Subsecretaria de Recursos Hídricos da Argentina (SSRH, 2013). Os valores dos tempos de base foram definidos através da observação dos hidrogramas das três maiores vazões observadas na bacia, sendo determinados $TB1$ de 75 dias, $TB2$ de 85 dias e $TB3$ de 95 dias. Após serem determinados os TBs as séries de vazões com tempo de base TB foram

geradas a partir do cálculo da média móvel com intervalo TB e as máximas vazões TB para cada ano hidrológico foram selecionadas, e indicadas na Tabela 8.16 no Apêndice IV. O ajuste da d.e.s. e da r.l.s. foram realizados e os parâmetros ajustados (Tabela 4.46).

Tabela 4.46 - Parâmetros do método do HMMP para a Série 1_SSRH e subséries de vazões diárias máximas anuais (m^3/s) da estação fluviométrica Paso de Los Libres.

Séries	HMMP	d.e.s.		r.l.s.	
	Tempos de base	$Q_B(m^3/s)$	$G_0(m^3/s)$	$Q_B(m^3/s)$	$G_0(m^3/s)$
Série 1	$TB1$	5.649	3.340	5.796	3.297
	$TB2$	5.474	3.219	5.594	3.199
	$TB3$	5.292	3.135	5.401	3.125
Série 2	$TB1$	4.786	3.658	5.026	3.672
	$TB2$	4.701	3.433	4.933	3.440
	$TB3$	4.665	3.227	4.918	3.195
Série 3	$TB1$	5.299	3.355	5.485	3.405
	$TB2$	5.187	3.121	5.390	3.135
	$TB3$	5.037	2.963	5.285	2.917
Série 4	$TB1$	5.957	3.223	6.123	3.284
	$TB2$	5.677	3.180	5.852	3.227
	$TB3$	5.386	3.213	5.565	3.259
Série 5	$TB1$	5.058	2.707	5.098	2.865
	$TB2$	5.052	2.624	5.091	2.777
	$TB3$	5.008	2.628	5.046	2.782
Série 6	$TB1$	5.796	3.584	5.920	3.717
	$TB2$	5.593	3.569	5.690	3.730
	$TB3$	5.365	3.556	5.455	3.723
Série 7	$TB1$	5.639	3.354	5.750	3.380
	$TB2$	5.408	3.276	5.493	3.324
	$TB3$	5.170	3.239	5.246	3.295
Série 1 s_outlier	$TB1$	5.800	3.264	5.919	3.248
	$TB2$	5.605	3.156	5.704	3.156
	$TB3$	5.394	3.092	5.491	3.093
Série 1_vmin_20	$TB1$	5.800	3.264	5.919	3.248
	$TB2$	5.604	3.156	5.704	3.157
	$TB3$	5.393	3.093	5.490	3.093
Série 1_vmaj_20	$TB1$	5.800	3.264	5.919	3.248
	$TB2$	5.605	3.155	5.704	3.156
	$TB3$	5.394	3.092	5.491	3.093

TB: tempo de base com valores $TB1= 75$ dias, $TB2= 85$ dias e $TB3= 95$ dias.

As vazões estimadas utilizando a Série 1_SSRH para diversos T pelo método HMMP são apresentadas na Tabela 8.17 (Apêndice IV). As $Q_{10.000}$ são apresentadas na Tabela 4.47 onde verifica-se que os valores estimados chegam a $130.970 m^3/s$, valor duas vezes maior que a vazão de projeto adotada no inventário (CNEC/ESIN/PROA, 2010) de $65.257 m^3/s$ e 3,4 vezes maior que a $Q_{máx}$ de $38.256 m^3/s$ (1983).

Tabela 4.47 - Vazões (m^3/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) estimadas pelo método do HMMP, diferença percentual máxima (DM) entre as vazões inferidas e relações com a CMP e com a $Q_{m\acute{a}x}$, para UHE Paso de Los Libres.

Séries	d.e.s.			r.l.s.		
	$TB1^*$	$TB2^*$	$TB3^*$	$TB1^*$	$TB2^*$	$TB3^*$
Série 1_SSRH	120.864	116.515	113.435	119.534	115.959	113.213
Série 2_SSRH	130.970	123.124	115.982	131.707	123.590	115.114
Série 3_SSRH	121.031	112.847	107.247	122.939	113.526	105.922
Série 4_SSRH	117.136	115.373	116.220	119.409	117.180	117.993
Série 5_SSRH	98.437	95.568	95.662	103.911	100.892	101.016
Série 6_SSRH	129.428	128.707	128.031	134.123	134.372	133.882
Série 7_SSRH	121.337	118.415	116.901	122.334	120.166	118.916
Série 1_s_outlier_SSRH	118.393	114.473	112.054	117.950	114.586	112.185
Série 1_vmin_20_SSRH	118.393	114.472	112.088	117.950	114.592	112.192
Série 1_vmaj_20_SSRH	118.393	114.438	112.054	117.950	114.579	112.179
DM	33%	35%	34%	29%	33%	33%
$N_{VALORES} > Q_{Projeto}^{**}$	10	10	10	10	10	10
$N_{VALORES} < Q_{m\acute{a}x}^{***}$	-	-	-	-	-	-

* TB : tempo de base com valores $TB1=75$ dias, $TB2=85$ dias e $TB3=95$ dias; ** Cheia de projeto ($Q_{Projeto}$) = 65.257 m^3/s ; ***Vazão Máxima ($Q_{m\acute{a}x}$) = 38.256 m^3/s no ano hidrológico 1983.

As $Q_{10.000}$ apresentaram diferença máxima de 35% (Tabela 4.47). Para as demais análises de estabilidade e sensibilidade o comportamento se apresenta relativamente uniforme (Tabela 4.48). Para a estabilidade do método e a sensibilidade ao tamanho da amostra, o mesmo comportamento foi observado, com DM de 29% para a r.l.s. para o $TB1$, menor variação registrada (Tabela 4.48). Em relação à sensibilidade à presença de pontos atípicos e aos menores valores a diferenças entre as estimativas revelaram-se insignificantes, isso de deve ao fato de os ajustes serem realizados para a média móvel TB (série de máximos TB anuais), reduzindo assim a importância dos valores diários (Tabela 4.48). Os ajustes pelas r.l.s. produziram menores DM do que os ajustes pela d.e.s. DM e entre os TBs as menores variações ocorreram para os valores estimados pelo $TB1$ (Tabela 4.47 e Tabela 4.48).

Tabela 4.48 - Diferença percentual máxima (DM) entre as vazões decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas pelo método do HMMP e para as diferentes análises, para Paso de Los Libres.

Análises	d.e.s.			r.l.s.		
	$TB1$	$TB2$	$TB3$	$TB1$	$TB2$	$TB3$
Estabilidade do método	33%	35%	34%	29%	33%	33%
Tamanho da amostra	33%	35%	34%	29%	33%	33%
Presença de pontos atípicos	2%	2%	1%	1%	1%	1%
Menores valores (minorados 20%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Menores valores (majorados 20%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%

As curvas ajustadas para a Série 1_SSRH pelas diversas combinações de método para a análise do HMMP são plotadas na Figura 4.58. As diferenças entre os valores plotados pela d.e.s. e a r.l.s. são insignificantes com valores de variação para as $Q_{10.000}$ de -1% considerando $TB1$, e não chegam a 1% para $TB2$ e $TB3$ (Tabela 8.18 no Apêndice IV e Figura 4.58). Entre as estimativas pelos TBs os valores não apresentam grande variação chegando a 7% de variação entre os valores estimados pelo $TB1$ e $TB3$, que possuem 20 dias de diferença que equivale a 27%. Pelas curvas ajustadas observa-se que todas as estimativas utilizando a Série 1_SSRH superestimam os valores observados (Figura 4.58). Nas Figura 8.16 e Figura 8.17 no Apêndice IV esse mesmo comportamento é observado. Apesar de esse fator ser interessante no ponto de vista da segurança do dimensionamento de estruturas hidráulicas, pode ser dispendioso quanto aos custos e viabilidade.

Figura 4.58 - Método do HMMP utilizando os ajustes d.e.s. e a r.l.s. para a Série 1_SSRH e para os $TB1$, $TB2$ e $TB3$ para Paso de Los Libres.

Para apresentar os resultados para o método do HMMP de forma detalhada uma das combinações de métodos foi selecionada a partir do critério do menor $RMSE$ médio, calculado para todas as séries. O método do HMMP ajustada pela d.e.s. para o $TB3$ de 95 dias foi o selecionado com valor de 11.679 m^3/s (Tabela 4.49). Os piores resultados do $RMSE$ ocorreram para o ajuste pela r.l.s. para o $TB1$ de 75 dias (Tabela 4.49).

Tabela 4.49 - Raiz do Erro Quadrático Médio ($RMSE^*$), em m^3/s , das vazões estimadas pelo método HMMP para Paso de Los Libres.

Séries	d.e.s.			r.l.s.		
	$TB1^{**}$	$TB2^{**}$	$TB3^{**}$	$TB1^{**}$	$TB2^{**}$	$TB3^{**}$
Série 1_SSRH	14.596	13.010	11.860	14.227	12.889	11.846
Série 2_SSRH	17.555	14.818	12.367	17.949	15.112	12.216
Série 3_SSRH	14.450	11.601	9.634	15.210	11.946	9.327
Série 4_SSRH	13.501	12.738	12.859	14.374	13.455	13.566
Série 5_SSRH	6.757	5.851	5.859	8.559	7.565	7.582
Série 6_SSRH	17.621	17.253	16.886	19.311	19.259	18.951
Série 7_SSRH	14.752	13.620	12.967	105.479	103.077	101.704
Série 1_s_outlier_SSRH	13.839	12.390	11.450	13.757	12.485	11.549
Série 1_vmin_20_SSRH	13.839	12.389	11.460	13.757	12.487	11.551
Série 1_vmaj_20_SSRH	13.839	12.378	11.450	13.757	12.483	11.547
Média	14.075	12.605	11.679	23.638	22.076	20.984
Soma	140.748	126.048	116.792	236.380	220.758	209.838

*Valores dos desvios calculados para as vazões com tempo de retorno (T) maior ou igual a 10 anos;

**TB: tempo de base com valores $TB1=75$ dias, $TB2=85$ dias e $TB3=95$ dias.

4.4.2.1 Método do HMMP ajustado pela d.e.s. para $TB3$

Os hidrogramas dos anos hidrológicos que registraram os três maiores picos, nos anos de 1983, 1997 e 1990 são plotados (Figura 4.59) e os TBs estimados. A Figura 4.59 possibilita que se observe a variabilidade das vazões ao longo do ano hidrológico para a estação Paso de Los Libres (Figura 4.59).

Figura 4.59 - Hidrogramas dos anos hidrológicos de 1983, 1997 e 1990 e vazão máxima de longo termo (Q_{MLT}) na estação Paso de Los Libres.

Na Figura 4.60 o intervalo de $TB3$ é estabelecido. As séries de vazões máximas anuais com $TB3$ foram calculadas e encontram-se na Tabela 8.16 do Apêndice IV, bem como, os respectivos T calculados pela fórmula Califórnia (Quadro 2.2). As vazões de pico estimadas pelo método HMMP são apresentadas na Tabela 8.17 (Apêndice IV), os parâmetros ajustados

encontram-se na Tabela 4.46 e as curvas ajustadas são plotadas na Figura 4.61. Na Figura 4.61 as retas dos ajustes da d.e.s. e os ajustes da equação da vazão de pico Q_P definida utilizando o k de Mockus de 3,7453 são plotadas. Apenas a partir de T maior que cerca de 5 anos as vazões estimadas pelo método HMMP são maiores que as vazões observadas (Figura 4.61).

Figura 4.60 - Hidrograma do ano hidrológico de 1990, vazão média de longo termo (Q_{MLT}) e determinação do TB3 na estação Paso de Los Libres.

Figura 4.61 - Ajustes das séries de médias máximas anuais e vazões de pico (Q_P) considerando o modelo HUC Mockus, para os ajustes pela d.e.s., para Paso de Los Libres.

As variações dos valores estimados em relação aos valores observados apresentam uma tendência de crescimento e variação positiva em relação aos valores observados (Figura 4.62). Pela Série 6 os valores chegam a superestimar em 75% a $Q_{m\acute{a}x}$ registrada na bacia com T de 103 anos (Figura 4.62). As vazões estimadas pela Série 5 têm os valores mais próximos das vazões observadas, superestimando a $Q_{m\acute{a}x}$ em 32%.

Figura 4.62 - Variação das estimativas de vazões em relação aos valores observados na estação fluviométrica Paso de Los Libres, pelo método da HMMP utilizando a d.e.s. para TB3.

4.4.2.2 Determinação do hidrograma de projeto

A vazão de projeto com valor de 113.435 m³/s para T de 10.000 anos pela Série 1_SSRH foi estimada utilizando o ajuste d.e.s. e TB3. Para a definição do hidrograma de projeto são avaliadas as relações pico/média (excedentes), indicadas pelo valor k^* . As maiores relações k^* indicam os hidrogramas que apresenta as características mais críticas para a bacia, sendo o pico registrado no ano hidrológico de 1990, o que apresenta as maiores relações. As vazões desse ano hidrológico serão utilizadas para obtenção do hidrograma-padrão da estação pluviométrica Paso de Los Libres para o cálculo do hidrograma de projeto.

Tabela 4.50 - Relações observadas entre picos e médias na estação Paso de Los Libres.

Anos de Cheia	Q_p (m ³ /s) observada	Q_B (m ³ /s) observada	Vazão Média Q_{TB1} (m ³ /s)	k^* TB1	Vazão Média Q_{TB2} (m ³ /s)	k^* TB2	Vazão Média Q_{TB3} (m ³ /s)	k^* TB3
1983	38.256	2.356	17.217	2,42	17.791	2,33	18.189	2,27
1997	33.921	2.197	17.177	2,12	15.595	2,37	14.447	2,59
1990	33.267	1.774	12.938	2,82	12.416	2,96	11.799	3,14

Serão apresentados dois hidrogramas de projeto, um deles utiliza as coordenadas do hidrograma unitário curvilíneo (HUC) de Mockus e o outro utiliza o hidrograma-padrão definido para o local. Utilizando o Q_p de 113.435 m³/s, TB3 de 95 dias e tempo de pico de 19 dias o HUC foi obtido (Figura 4.63). Utilizando o hidrograma-padrão os valores são plotados para o T de 1.000 anos e 10.000 anos (Figura 4.64)

Figura 4.63 - Hidrograma de projeto na estação fluviométrica Paso de Los Libres com base no HUC (T=10.000 anos), para a Série 1_SSRH ajustada pela d.e.s. para TB3.

Figura 4.64 - Hidrogramas de projeto na estação fluviométrica Paso de Los Libres com base na cheia 1991-1992, para a Série 1_SSRH ajustada pela d.e.s. para TB3.

4.4.2.3 Análises dos tempos de base TB

Para avaliar a sensibilidade do método do HMMP aos valores definidos para o TB da localidade foram estimados mais três valores a partir da avaliação do número de dias em as vazões se encontram acima da Q_{MLT} . Os valores avaliados do tempo de base foram $TB4= 160$ dias, $TB5= 200$ dias e $TB6= 240$ dias. Os parâmetros estimados são apresentados na Tabela 4.51 e as curvas ajustas são apresentadas na Figura 4.65. O crescimento dos valores estimados ocorre conforme os valores de TB diminuem como pode ser verificado na Tabela 4.51 e Figura 4.65.

A diferença de 220% entre o $TB1$ e o $TB6$ provoca uma diferença de 59% nas $Q_{10.000}$ estimadas pela d.e.s., que constitui a maior DM entre as estimativas. O ajuste pela d.e.s.

utilizando *TB5* é o que apresenta o menor *RMSE* de 2.738, no entanto, alguns valores estimados subestimam as vazões observadas (Figura 4.65). A partir da análise das retas ajustadas plotadas na Figura 4.65 o *TB4* pela r.l.s. demonstra ser o valor dentre os observados que tem o melhor comportamento, com valores estimados acima dos observados e *DM* de 28% (Figura 4.65).

Tabela 4.51 - Parâmetros e vazões (m^3/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) do método do HMMP para a Série 1_SSRH utilizando os *TB4*, *TB5* e *TB6* da estação fluviométrica Paso de Los Libres.

	Tempo de base	d.e.s.			r.l.s.		
		Q_B	G_0	$Q_{10.000}$	Q_B	G_0	$Q_{10.000}$
Série 1_SSRH	<i>TB4</i>	4.928	2.487	90.715	4.966	2.528	92.174
	<i>TB5</i>	4.843	2.241	82.143	4.869	2.287	83.767
	<i>TB6</i>	4.693	2.074	76.241	4.729	2.104	77.308

Figura 4.65 - Método do HMMP utilizando os ajustes d.e.s. e a r.l.s. para a Série 1_SSRH e para os *TB1*, *TB2*, *TB3*, *TB4*, *TB5* e *TB6* para Paso de Los Libres.

5 ANÁLISE CRÍTICA DOS MÉTODOS

Os métodos da Análise de Frequência Local (AFL), Análise de Frequência Conjugada (AFC) e Hidrograma Máximo Mais Provável (HMMP) foram aplicados às séries de vazões de três localidades (UHE Sobradinho e UHE Três Marias, na bacia do rio São Francisco, e Paso de Los Libres, localizada na bacia do rio Uruguai). Essas aplicações tiveram como intuito avaliar os procedimentos de forma a identificar as vantagens e dificuldades na aplicação dos métodos e avaliar a estabilidade e sensibilidade à determinação das vazões de projeto.

A avaliação da estabilidade foi realizada a partir da utilização de amostras (subséries) de mesmo tamanho compreendendo períodos diferentes da série completa (Série 1), indicadas no Quadro 3.3. Nas análises da sensibilidade foram avaliadas a influência do tamanho da amostra, da presença de pontos atípicos (*outliers*) e dos menores valores da série (Quadro 3.3). Foram realizadas também análises específicas para cada método.

Para o método AFL as diferenças máximas percentuais (*DM*) foram obtidas para as combinações entre os momentos biased (B) e unbiased (UB) e os métodos de estimação dos parâmetros: método da máxima verossimilhança (MV), método dos momentos (MM) e método dos momentos ponderados (MP). Para o método AFC foram realizadas análises da influência dos métodos de estimação de parâmetros (mínimos quadrados (MQ), MM e MV) e análise da sensibilidade do método ao valor adotado da Cheia Máxima Provável (CMP). Para análise do HMMP os resultados pelas equações de ajuste distribuição exponencial simples (d.e.s.) e regressão linear simples (r.l.s.) foram comparados e a sensibilidade do método ao valor do tempo de base (*T_B*) também foram realizadas.

Para os métodos AFL, AFC e HMMP os valores das vazões de projeto foram comparados com os valores máximos observados ($Q_{máx}$) nas localidades e também, com as variações entre as vazões estimadas e as observadas para tempos de retorno (T) maiores que 10 anos. Para a UHE Três Marias e a UHE Sobradinho as $Q_{10.000}$ foram comparadas com as CMP definidas para estas localidades e em Paso de Los Libres foi comparada com $Q_{Projeto}$ adotada no inventário da bacia do rio Uruguai.

5.1 Comparação entre os métodos

Os resultados obtidos pela aplicação dos métodos AFL, AFC e HMMP foram comparados em termos das diferenças máximas percentuais (DM) entre as estimativas para as $Q_{10.000}$. Nesta seção é apresentada uma síntese dos resultados do Capítulo 4: ESTUDOS DE CASO, com o intuito de comparar e avaliar o comportamento dos métodos em relação a estabilidade e a sensibilidade ao tamanho da amostra, a presença de pontos atípicos e a influência dos menores valores. Para cada local do estudo será realizada a discussão dos resultados.

Para a UHE Sobradinho a AFL produziu as maiores variações entre as vazões $Q_{10.000}$. Ao considerar todas as estimativas, ou seja, englobarmos os valores estimados pela série completa (Série 1) e subséries e todos os métodos selecionados através da análise do erro padrão médio (EP), indicados na Tabela 4.5, a diferença entre o menor e maior valor estimado chega a 321% (Tabela 5.1). Esse valor é calculado pela diferença entre a estimativa calculada utilizando a distribuição GEV (B-MP-GEV) de 10.057 m³/s e a estimativa pela distribuição LPIII (B e UB-MV-LPIII) de 42.322 m³/s. Mesmo considerando apenas os valores estimados pela distribuição GEV (B-MP-GEV), variando apenas as séries, a DM chega a 265% (Tabela 4.8).

Tabela 5.1 - Diferença percentual máxima (DM) entre as vazões (m³/s) decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas para as diferentes análises e métodos, para UHE Sobradinho.

Análise	HMMP	AFC	AFL
Estabilidade do método	29%	57%	169%
Tamanho da amostra	29%	64%	321%
Presença de pontos atípicos	15%	34%	118%
Menores valores (minorados 20%)	9%	23%	98%
Menores valores (majorados 20%)	9%	26%	83%
Considerando todas as séries	31%	64%	321%

A estimativas utilizando a série de vazões da UHE Sobradinho apresentou as maiores diferenças percentuais máximas (DM) nas análises dos métodos AFL e AFC. Tendo o método do HMMP se mostrado mais adequado para utilização nesta localidade. O método AFC também se mostrou sensível ao tamanho da amostra, apresentando as maiores variações para esta análise, assim como o método AFL (Tabela 5.1). No entanto, se compararmos as estimativas entre as séries para cada método de estimação na análise da estabilidade do método AFC, as DM sofrem uma redução significativa, sendo de 27% para o MQ, 26% pelo MM e 22% para a MV (Tabela 4.13). O HMMP apresenta os melhores resultados ficando

com a *DM* em 16% para todas as combinações utilizadas entre a d.e.s., a r.l.s. e os *TB* (Tabela 4.18).

A retirada do ponto considerado *outlier* apresentou grande influência sobre o resultado do método AFL. Utilizando todos os valores estimados pelo método para a Série 1 e Série 1 s_outlier, a variação foi de 169%, considerando a variação das distribuições selecionadas a influência destes pontos variou entre 5% e 37% (Tabela 4.8), e em 6 das 11 distribuições a retirada do *outlier* causou uma redução na estimativa de mais de 14% (Tabela 4.8).

O método do HMMP apresentou bons resultados para todas as análises e foi o melhor dentre os três métodos avaliados, no caso da UHE Sobradinho. Em relação aos menores valores a variação entre as estimativas do método do HMMP é insignificante chegando a 9% se compararmos todas as estimativas para esta análise e sofrendo variação menor que 1% se avaliarmos cada combinação de análise (Tabela 4.18). O método AFC também apresentou um bom comportamento em relação as análises, no caso da influência dos menores valores, 23% e 26% representam mais a diferença entre os métodos de estimação do que a variação decorrente da minoração e majoração, o método MQ não sofreu influência na estimativa, o método MM sofreu variação de 1% tanto para a minoração como para a majoração, e o método MV sofre influência de 4% para os menores valores minorados em 20%, e 3% para a majoração em 20% (Tabela 4.13).

Na UHE Três Marias observa-se um comportamento diferente entre os métodos em relação as *DM* encontradas na UHE Sobradinho. No caso da UHE Três Marias o método AFC apresentou melhores resultados que o do HMMP (Tabela 5.2). Isso se deve principalmente aos valores definidos para o *TB*, no caso da UHE Sobradinho os tempos de base, estimados pela observação dos hidrogramas das três maiores vazões observadas, variaram em apenas 10 dias. Para UHE Três Marias os *TBs* definidos, *TB*₁= 130 dias, *TB*₂= 170 dias e *TB*₃= 210 dias, variaram em 40 dias. Mesmo para as estimativas utilizando cada *TB* as variações aplicando o método a Série 1 e todas as subséries ficaram com *DM* entre 22% (d.e.s. e *TB*₁) e 39% (r.l.s. e *TB*₃), para as demais análises as *DM* são apresentadas na Tabela 4.35.

Tabela 5.2 - Diferença percentual máxima (*DM*) entre as vazões decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas para as diferentes análises e métodos, para UHE Três Marias.

Análise	HMMP	AFC	AFL
Estabilidade do método	82%	30%	286%
Tamanho da amostra	82%	30%	286%
Menores valores (minorados 20%)	39%	8%	147%
Menores valores (majorados 20%)	39%	9%	140%
Considerando todas as séries	82%	30%	286%

O método AFC produziu melhores resultados do que o HMMP quando consideradas as análises da estabilidade do método e da sensibilidade ao tamanho da amostra, essas duas análises produziram variações iguais (Tabela 4.25, Tabela 4.30, Tabela 4.35 e Tabela 5.2), ou seja, o fato de serem inseridas as estimativas pela Série 1 na análise do tamanho da amostra não modifica o valor da *DM* para os métodos AFL, AFC e HMMP. Não existe nenhum ponto considerado atípico na série de vazões máximas da UHE Três Marias não sendo possível a análise da sensibilidade dos métodos a presença de *outliers*.

Em relação à sensibilidade aos menores valores a UHE Três Marias apresenta resultados semelhantes entre os métodos AFC e HMMP, variando em no máximo 1% , quando considerada cada combinação (Tabela 4.30 e Tabela 4.35), valor considerado insignificante. O método AFL também apresenta pouca sensibilidade aos menores valores variando entre menos de 1% e 7% (Tabela 4.25), no entanto, quando comparadas todas as séries e métodos utilizados para esta análise, a *DM* chega a 147% pelo método AFL para a minoração em 20% dos três menores valores das séries (Tabela 5.2).

Na estação Paso de Los Libres foram aplicados os métodos AFL e HMMP. Não foi possível aplicar o método AFC pois não existe valor da CMP pré-definido, para a aplicação deste método seria necessária a análise da PMP e modelagem da CMP, considerada além do escopo deste trabalho. O método do HMMP apresentou melhores resultados para todas as análises realizadas (Tabela 5.3). No método HMMP a inclusão da Série 1 (77 anos) de dados não implicou em variação na *DM* e no método AFL a inclusão da Série 1 (77 anos), Série 1_SSRH (103 anos) e Série 7_SSRH (77 anos) não implicaram em variação da *DM* (Tabela 4.42, Tabela 4.48 e Tabela 5.3).

Tabela 5.3 - Diferença percentual máxima (*DM*) entre as vazões decamilenares ($Q_{10.000}$) inferidas para as diferentes análises e métodos, para estação fluviométrica Paso de Los Libres.

Análise	HMMP	AFL
Estabilidade do método	41%	100%
Tamanho da amostra	41%	100%
Presença de pontos atípicos	8%	63%
Menores valores (minorados 20%)	6%	58%
Menores valores (majorados 20%)	6%	61%
Considerando todas as séries	41%	100%
Inventário BH Rio Uruguai*	**	16%

*DM entre as vazões inferidas no Estudo de Inventário Hidroelétrico da Bacia do Rio Uruguai pelo método AFL (CNEC/ESIN/PROA, 2010); **Método não utilizado no inventário.

A diferença das estimativas, pela análise da estabilidade e sensibilidade ao tamanho da amostra variou entre 29% (r.l.s. e $TB1$) e 34% (d.e.s. e $TB2$) para o HMMP, e entre 30% (EXP) e 84% (LPIII) pelas combinações selecionadas para o método AFL indicadas na Tabela 4.39. Em relação aos pontos atípicos a retirada do menor valor observado (Q_{min}) acarretou uma diminuição no valor estimado de até 2% pelo método do HMMP (Tabela 4.48) e de até 11% pelo método AFL (Tabela 4.42). Com isso observamos que a retirada da Q_{min} provoca uma diminuição no valor estimado decorrente da diminuição do T empírico que é calculado com base no número de dados e ordenação das séries de máximos. Considerando todas as estimativas pelas Série 1, Série 1_s_outlier, Série 1_SSRH e Série 1_SSRH_s_outlier a DM foi de 63% (Tabela 5.3).

A majoração e minoração dos menores valores não implicou em mudanças significativas nas $Q_{10.000}$ estimadas pelo HMMP, o valor 6% (Tabela 5.3) reflete as mudanças referentes a equação de ajuste e TB utilizado. O método AFL chegou a variação de 21% causada pela majoração de 20% nos três menores valores da Série 1_SSRH_s_outlier, essa variação ocorreu pelo método LPIII (Tabela 4.42) e considerando todas as séries da análise e distribuições de ajuste a variação pelo método AFL chegou a 61%.

Avaliando os estudos de caso o método AFL apresentou os piores resultados em relação as análises propostas (Quadro 3.3). Os métodos AFC e HMMP apresentaram melhor desempenho, no entanto, alguns aspectos devem ser avaliados de forma cuidadosa como, por exemplo, a sensibilidade destes métodos à CMP e ao TB , respectivamente. Uma avaliação das vantagens e dificuldades de cada método será discutida, bem como os aspectos que merecem destaque e foram observados ao longo da aplicação dos métodos.

5.2 AFL

O método da AFL possui uma vasta aplicação nos estudos hidrológicos, além disso, uma gama de ferramentas e softwares são disponibilizados para aplicação deste método. A aplicação deste método apresenta procedimentos de fácil manipulação, sendo necessária apenas a série de dados de máximos para a localidade. O uso do software Flood Frequency Analysis (RAO; HAMED, 2000) auxiliou na simulação e possibilitou realizar o grande número de simulações e combinações de métodos.

O software Flood Frequency Analysis permite a combinação entre os momentos biased (B) e unbiased (UB), os métodos de estimação de parâmetros MV, MM e MP e 15 distribuições de probabilidade (Quadro 3.2). Apesar da grande variedade de possibilidades

avaliar dentre as combinações a que melhor se adequa aos dados não foi uma tarefa fácil. Algumas ferramentas são apresentadas no software para essa avaliação: o erro padrão (*EP*) e os intervalos de confiança, os testes de aderência do Qui-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov e os diagrama das relações dos momentos ou MRD (“moment ratio diagrams”) e também o L-MRD a partir da avaliação dos coeficientes de assimetria (*CS*) e os coeficientes de curtose (*CK*). Mesmo para as distribuições escolhidas avaliando estes critérios as respostas às análises da estabilidade e sensibilidade apresentaram *DM* que chegaram a 321%.

Com base nos critérios observados, na utilização dos métodos AFL não foi possível a indicação de uma distribuição de frequência mais adequado para utilização. Observou-se que pelos momentos B os resultados apresentaram menor erro padrão para todos os casos, não sendo selecionada nenhuma combinação utilizando o método UB, a não ser para o método de estimação MV que apresentou os mesmos resultados pelos dois momentos (B e UB).

Nos estudos de caso, o método AFL apresentou valores de $Q_{10.000}$ abaixo das $Q_{\text{máx}}$ inclusive para estimativas utilizando a série completa de dados. Esse fato chama a atenção principalmente para o caso de grandes obras, pois os riscos associados à utilização destes métodos podem trazer grandes prejuízos caso não sejam realizadas análises cuidadosas das séries e dos métodos empregados para o cálculo das cheias de projeto.

Alguns autores (COLUMBIA, 1993; FERNANDES; NAGHETTINI; LOSCHI, 2010; GARCIA; BRAGA JR, 1997; SOUZA, 2006) realizaram uma avaliação do método AFL e defendem a utilização de informações hidrometeorológicas para obtenção da CMP na localidade e incorporação destas informações nas análises estatísticas, como sugere o método AFC (GARCIA; BRAGA JR, 1997; GARCIA, 1996a).

A partir das análises realizadas e com base nas proposições apresentadas por Klemes²⁰ (1995) *apud* Souza (2006) as distribuições estatísticas são pré-determinadas pelos ajustes dos valores com menor T, sendo que as séries disponibilizadas compreendem períodos curtos de dados, com menos de 100 anos e apresentando poucos valores realmente significativos. As distribuições possuem bom ajuste para os dados com baixo tempo de retorno e para extrapolação da curva de distribuição subestimam os valores e a extrapolação não possui um limite para sua validação. Klemes²¹ (1995) *apud* Souza (2006) destaca ainda a respeito dos problemas de ordem conceitual da metodologia:

---

²⁰ KLEMES, V., (1995) Probability of Extremes Hydrometeorological Events (Sensitivity of Return Period Estimates), Report for B. C. Hydro, Vancouver, B. C., Canada.

²¹ KLEMES, V., (1995) Probability of Extremes Hydrometeorological Events (Sensitivity of Return Period Estimates), Report for B. C. Hydro, Vancouver, B. C., Canada.

[...] com base na hipótese de que cada observação representa um “pacote” igualmente válido de informação verdadeira da distribuição da população da variável hidrológica; uma vez que esta hipótese é manifestamente falsa (as observações tem erros e estão sujeitas às incertezas), as refinadas técnicas para obter informações podem extrair, também, muitas informações imprecisas e, portanto, comprometer sua habilidade de discernir entre modelos de distribuição bons e ruins.

As considerações apresentadas são evidenciadas nos estudos de caso onde observa-se um bom ajuste para os menores T e um aumento da variação dos valores conforme o T aumenta (Figura 4.4, Figura 4.12, Figura 4.29, Figura 4.37, Figura 4.57). Apenas no ajuste da Série 1_SSRH para a localidade de Paso de Los Libres esse comportamento não é verificado (Figura 4.53). A escolha da melhor combinação, como já comentado, também foi uma das dificuldades. Apesar de as séries completas (Série 1) terem sido testadas e aceitas quanto aos pressupostos requeridos de aleatoriedade, homogeneidade, independência e estacionariedade, essas análises não foram realizadas para as subséries pelo fato de demandarem muito tempo e não haver um mesmo software para realização de todos os testes.

5.3 AFC

O método AFC proposto por Garcia (1996a) e desenvolvido como uma proposta de inserir um limite máximo para as estimações realizadas pelo método estatístico, através da utilização da CMP como valor limite. Uma das críticas aos modelos probabilísticos consistem no fato de não haver um limite aos valores estimados, e não considerarem as características físicas do local. E os modelos determinísticos que utilizam a PMP e a CMP para definição das cheias de projeto são criticados principalmente por não serem atribuídas probabilidades aos valores que permitam associar riscos a sua utilização (CONTE, 2012).

As análises realizadas e aplicações da AFC permitem observar que as respostas em termos das vazões estimadas apresentam resultados mais coerentes do que os apresentados pela AFL. As $Q_{10.000}$ se mostraram estáveis para as análises utilizando as diversas subséries. Para a sensibilidade a influência dos pontos considerados *outlier* bem como para os menores valores, não apresentou variações significativas. No entanto, algumas estimativas de vazões decamilenares apresentaram valores menores que a $Q_{máx}$ observada, isso ocorreu para duas das localidades para o qual o método foi aplicado, UHE Sobradinho e UHE Três Marias. Em Sobradinho 7 das 11 estimativas pelo método MV apresentaram $Q_{10.000}$ menores que a $Q_{máx}$, inclusive a estimativa obtida pelo ajuste da série completa (Série 1), necessitando maior prudência quanto à utilização deste método.

A influência do método de estimação de parâmetros utilizado também é evidenciada chegando a variações de até 31%, para uma mesma série, entre as vazões estimadas pelos três métodos de estimação utilizados MQ, MM e MV (Tabela 4.12 e Tabela 4.29). O método MV apresentou as menores estimativas de $Q_{10.000}$ e as maiores DM entre os valores ajustados pelas diversas séries e subséries.

A sensibilidade ao valor da CMP também foi avaliada (Tabela 8.6 e Tabela 8.8 no Apêndice III, Tabela 4.15 e Tabela 4.32). A minoração em 20% da CMP provocou a diminuição na $Q_{10.000}$ de até 10%. A majoração em 20% provocou um aumento de 6%. Conforme o aumento do T, maior a variação, em termos absolutos, e influência do valor da CMP na estimativa. Para UHE Sobradinho notou-se também que o aumento e diminuição da CMP foram semelhantes para a série com e sem *outlier* (Tabela 8.6 no Apêndice III).

5.4 HMMP

O método do HMMP foi proposto por Conte (2012) com intuito de apresentar uma metodologia para determinação de vazões de projeto de forma a auxiliar na decisão e adoção de vazões de picos e hidrogramas. Conte (2012) avaliou as metodologias estatísticas e determinísticas e também abordou em seu estudo as questões relacionadas à segurança de obras hidráulicas avaliando os métodos estatísticos e apresentando o HMMP como um método mais seguro e de fácil aplicação.

O método do HMMP apresentou respostas mais seguras para o estudo de vazões máximas em grandes bacias hidrográficas. Nenhuma das $Q_{10.000}$ estimadas foram menores que a $Q_{máx}$ observadas. Os métodos AFL e AFC apresentaram valores $Q_{10.000}$ menores que a $Q_{máx}$. Por essa razão o HMMP mostrou-se a favor da segurança para os estudos de caso analisados. No entanto, investigações mais aprofundadas devem ser realizadas no intuito de avaliar o fato de as vazões de projeto ter valores superestimados e as implicações destes valores nos custos das obras hidráulicas.

Embora o procedimento para aplicação do método HMMP seja simples e de fácil utilização tendo sido realizado apenas com o uso de planilhas eletrônicas e a partir de séries diárias de vazões das localidades estudadas, uma das dificuldades encontradas para a aplicação do método consistiu na determinação do TB . Conforme apresentado por Conte (2012) e constatado através dos estudos de caso, o valor do TB tem forte influência sobre os valores estimados e quanto maior o TB utilizado menores os valores das vazões estimadas (Figura 4.19, Tabela 4.51, Figura 4.65, Tabela 8.15 no Apêndice IV). Uma variação de 62%

entre os *TBs* acarretou uma diferença entre as estimativas das $Q_{10.000}$ de 37%, essa diferença foi observada comparando os valores para *TB1* e *TB3* para UHE Três Marias utilizando a d.e.s. (Tabela 8.15 no Apêndice IV).

Apesar do *TB* ser uma característica proveniente dos hidrogramas observados na bacia, sua determinação apresentou dificuldade principalmente para os locais em que a variabilidade das vazões ao longo do ano hidrológico se apresentou muito desuniforme, com vários picos ocorrendo ao longo do ano hidrológico, caso de Paso de Los Libres. Uma alternativa para estimar o *TB* é através do cálculo a partir da determinação do tempo de concentração da área de drenagem e das relações apresentadas para o HUC de Mockus. Neste trabalho não foram investigadas estas formulações. A determinação dos *TBs* foi realizada a partir da inspeção dos hidrogramas correspondentes às três maiores vazões observadas nos locais de estudo.

Com relação à estabilidade a maior variação ocorrida para o método HMMP foi de 39% considerando os ajustes para as diversas séries analisadas para um mesmo *TB*. Esse valor foi maior do que a variação ocorrida pelo método AFC ao considerar os ajustes para as diversas análises e para um mesmo método de estimação de parâmetros. Isso pode ter ocorrido pelo fato de o método do HMMP não ter um valor limite para suas estimativas, assim como o método AFL. No entanto, o método AFL apresentou variações de até 121% considerando as diversas séries e para uma mesma combinação de métodos.

Avaliando a sensibilidade do método do HMMP ao tamanho da amostra as *DM* considerando cada combinação entre d.e.s e r.l.s. e os *TBs* variaram entre 15% e 39%. Para as análises da estabilidade e sensibilidade do método, na UHE Três Marias e na estação Paso de Los Libres, as *DM* foram iguais não tendo apresentando maior valor após a comparação das subséries com 40 anos de dados com as estimativas utilizando as séries completas (Série 1 e Série 1_SSRH). Para a sensibilidade do método a presença de pontos atípicos e a minoração e majoração dos três menores valores as variações chegaram a uma diferença de 2%, valor considerado insignificante. Esses resultados se devem ao fato de esses valores, *outlier* e os três menores valores, serem referentes às séries de valores médios diários e na aplicação do método do HMMP serem utilizadas as séries de vazões médias com tempo de base *TB*.

6 CONCLUSÕES

O estudo desenvolvido compreendeu a aplicação dos métodos da Análise de Frequência Local (AFL), Análise de Frequência Conjugada (AFC) e Hidrograma Máximo Mais Provável para obtenção de valores extremos de vazão em grandes bacias hidrográficas. Os valores máximos das variáveis hidrológicas possuem importantes aplicações na engenharia, notadamente no dimensionamento de projetos hidráulicos (ex. barragens), geralmente ligadas às análises de risco, segurança e custo de empreendimentos.

A aplicação dos métodos teve como objetivo avaliar a estabilidade e a sensibilidade dos métodos quanto à extensão das séries de dados, a presença de *outliers* e a influência dos dados de menor magnitude. O método AFL (método estatístico) é o método mais tradicional e usual e consiste da análise de frequência das séries de vazões máximas diárias anuais, com a aplicação das distribuições de frequência. A AFC e o HMMP são propostas mais recentes na obtenção de vazões máximas de projeto. A AFC utiliza as informações determinísticas na abordagem estatística, utilizando a Cheia Máxima Provável (CMP) como limite máximo na análise de frequência, valor determinado a partir da Precipitação Máxima Provável (PMP) com a utilização de informações hidrometeorológicas e modelos chuva-vazão. O HMMP utiliza uma relação entre volumes excedentes dada por Mockus como mais provável de ocorrer e indicada pelo valor k de 3,7453, relação entre pico e média, do Hidograma Unitário Curvilíneo (HUC) do SCS proposto por Mockus. No método do HMMP é proposto também o procedimento para obtenção do hidograma de projeto através uma análise heurística dos volumes dos hidogramas na área em estudo.

Os estudos de caso englobaram 11 aproveitamentos hidrelétricos localizados no Brasil e 4 estações fluviométricas da Bacia do Rio Uruguai. As análises estatísticas da aleatoriedade, estacionariedade, homogeneidade e independência das séries de vazões diárias máximas anuais foram realizadas com o uso de testes de hipótese não paramétricos. Apenas as localidades de Três Marias e Paso de Los Libres foram aceitas segundo todos os testes e a UHE Sobradinho rejeitada em apenas um dos testes da análise da aleatoriedade. Desta forma,

os métodos foram aplicados para UHE Sobradinho, para UHE Três Marias e para estação fluviométrica Paso de Los Libres. A UHE Sobradinho foi utilizada com o intuito de realizar uma análise comparativa com outros estudos.

As aplicações demonstraram que o método AFL foi o que apresentou as maiores inconsistências nos resultados e maiores diferenças entre as estimativas das vazões decamilenares. Para este método, verificou-se também uma grande dificuldade em determinar qual distribuição melhor se adequa aos dados observados e quais os métodos de estimação de parâmetros que levam a melhores resultados, induzindo a dúvidas e insegurança para determinação da vazão de projeto.

Os métodos AFC e HMMP apresentaram resultados com bom desempenho em concordância com as análises realizadas em outros estudos. Esses métodos se mostraram promissores para análises de vazões de projeto e também são de fácil aplicação. As análises da estabilidade e sensibilidade apresentam diferenças máximas de 82% e 64% dentre todas as estimativas e aspectos avaliados, para o HMMP e AFC, respectivamente, enquanto para o AFL a diferença máxima chegou a 321%. Para Sobradinho, pelo ajuste da distribuição logística (LOG), dentre as 11 séries utilizadas 7 apresentaram estimativas de vazões decamilenares inferior à vazão máxima observada ($Q_{m\acute{a}x}$) na série de 79 anos de registros.

Para a AFC, o método dos mínimos quadrados apresentou estimativas para as vazões com resultados superiores aos métodos da máxima verossimilhança e ao método dos momentos. É necessária a busca de novos métodos ou ferramentas que auxiliem na identificação de qual método de estimação de parâmetros utilizar e que avaliem a proximidade dos valores estimados com os valores observados. Principalmente na faixa de valores em que as vazões observadas são mais escassas e que possuem os maiores tempos de retorno empírico, é necessário avaliar a adequação das curvas a esses valores. Outro aspecto que merece uma investigação mais aprofunda refere-se a posição de plotagem adotada e sua influência nas estimativas de vazão de projeto.

Para o método HMMP a utilização tanto da distribuição exponencial simples como da regressão exponencial simples gerou resultados muito semelhantes. A maior dificuldade na aplicação do método encontra-se na determinação do tempo de base característico para a localidade, recomenda-se um estudo mais aprofundado para indicar formas de determinar o tempo de base e facilitar a aplicação do método. O HMMP resultou vazões decamilenares sempre acima da vazão máxima observada e mostrou-se a favor da segurança superestimando as vazões observadas para a maioria dos casos. Porém, é preciso uma avaliação das implicações destes valores nos custos e viabilidade de obras hidráulicas.

7 REFERÊNCIAS²²

BARROS, M. T. L. DE; ZAMBON, R. C. Estatística de Extremos II. Apresentação em meio eletrônico, 2013.

BEARD, L. R. Statistical methods in hydrology. January, p. 130, 1962.

BENSON, M. Uniform Flood-Frequency Estimating Methods for Federal Agencies. Water Resources Research, v. 4, n. 5, 1968.

BOBÉE, B. et al. Towards a systematic approach to comparing distributions used in flood frequency analysis. Journal of Hydrology, v. 142, n. 1-4, p. 121–136, fev. 1993.

BRASIL. LEI Nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 22 de set. 2010. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm>. Acesso em: 15 nov. 2012

BRASIL. Manual de Segurança e Inspeção de Barragens. Brasília: Ministério da Integração Nacional (MI), 2002. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/infrastrukturahidrica/publicacoes/manual_barragens.asp> Acesso em: 15/11/2012.

CÂMARA, F. G. DA; SILVA, O. Estatística não paramétrica: Testes de hipóteses e medidas de associação. [s.l.] Universidade dos Açores, 2001.

CAMPOS, N. Lições em Modelos e Simulação Hidrológica. 1ª. ed. Fortaleza: ASTEF, 2009. 165 p.

CÂNDIDO, M. DE O. SEAF – Um protótipo de um sistema especialista para análise de frequência local de eventos hidrológicos máximos anuais. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2003.

CASIMIRO, W. Modélisation du bilan hydrique à pas de temps mensuel pour l'évaluation de l'impact du changement climatique dans le bassin Amazonien du Pérou. 2010.

CBDB - COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. Guia Básico de Segurança de Barragens. São Paulo: Comitê Brasileiro de Barragens - Núcleo de São Paulo, 2001. p. 1–77

CBDB – COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. Grandes Vertedouros Brasileiros: Uma panorâmica da prática e da experiência brasileira em projetos e construção de vertedouros para grandes barragens. [s.l.] CBDB/ICOLD, 2010. 231 p.

---

²² De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6023.

CEPED - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil. Florianópolis: CEPED UFSC, 2012. 94 p.

CHIEW, F.; SIRIWARDENA, L. TREND – User Guide. Australia. Cooperative Research Center for Catchment Hydrology, 2005.

CLARKE, R. T. Estimating trends in data from the Weibull and a generalized extreme value distribution. *Water Resources Research*, v. 38, n. 6, p. 1089, 2002.

CNEC/ESIN/PROA. Relatório Final dos Estudos de Inventário Hidroelétrico da Bacia do Rio Uruguai no Trecho Compartilhado entre Argentina e Brasil. 2010.

COELHO FILHO, J. A. P. Metodologia de curvas envoltórias probabilísticas para a estimação de cheias de projeto em bacias hidrográficas não monitoradas no estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

CONTE, A. E. Aspectos de um Hidrograma Máximo Mais Provável. São Paulo: CreateSpace, 2012. p. 1–180

CUNNANE, C. Unbiased plotting positions—a review. *Journal of Hydrology*, v. 37, p. 205–222, 1978.

DETZEL, D. et al. Estacionariedade das Afluências às Usinas Hidrelétricas Brasileiras. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 16, n. 3, p. 95–111, 2011.

EM-DAT, The International Disaster Database. Disponível em: <<http://www.emdat.be/maps-disaster-types>> Acesso em: 15/11/2013.

ELETROBRÁS. Guia para cálculo de cheia de projeto de vertedores. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 1987. p. 1–215

FERNANDES, W.; NAGHETTINI, M.; LOSCHI, R. A Bayesian approach for estimating extreme flood probabilities with upper-bounded distribution functions. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, v. 24, n. 8, p. 1127–1143, 22 jan. 2010.

GARCIA, L. A. V. DE; BRAGA JR, B. P. F. Análise de Frequência Conjugada. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 2, n. 2, p. 21–44, 1997.

GARCIA, L. A. V. DE Método Conjugado - Combinação dos Métodos Estatístico e Determinístico para a Determinação de Valores Máximos de Variáveis Hidrológicas. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1996a.

GARCIA, L. A. V. DE Setup.exe: MC - Método Conjugado. São Paulo: 1996b. Visual Basic Versão 3.0. Executado em ambiente Windows

GRINGORTEN, I. A plotting rule for extreme probability paper. *Journal of Geophysical Research*, v. 68, n. 3, p. 813–814, 1963.

GRUBBS, F. Sample criteria for testing outlying observations. *The Annals of Mathematical Statistics*, v. 21, n. 1, p. 27–58, 1950.

GRUBBS, F.; BECK, G. Extension of sample sizes and percentage points for significance tests of outlying observations. *Technometrics*, v. 14, n. 4, p. 847–854, 1972.

GRUBBS, F. E. Procedures for Detecting Outlying Observations in Samples. *Technometrics*, v. 11, n. 1, p. 1–21, 1969.

GUMBEL, E. J. The return period of flood flows. *The annals of mathematical statistics*, v. 12, n. No. 2 (Jun., 1941), p. 163–190, 1941.

HAMED, K. H. Exact distribution of the Mann–Kendall trend test statistic for persistent data. *Journal of Hydrology*, v. 365, n. 1-2, p. 86–94, fev. 2009.

HAMED, K. H.; RAO, A. R. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, v. 204, n. 1-4, p. 182–196, jan. 1998.

HAWKINS, D. Identification of outliers. London: Chapman and Hall, 1980. p. 188

HOSKING, J. L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *Journal of the Royal Statistical Society*. v. 52, n. 1, p. 105–124, 1990.

HOSKING, J.; WALLIS, J. Regional frequency analysis: an approach based on L-moments. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1997. 224 p.

HOUGHTON, J. Birth of a parent: The Wakeby distribution for modeling flood flows. *Water Resources Research*, 1978.

HUFF, F. Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research*, v. 3, n. 4, p. 1007–1019, 1967.

KATZ, R. W.; PARLANGE, M. B.; NAVEAU, P. Statistics of extremes in hydrology. Ago. 2002. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0309170802000568>>

KLEMES, V. Probability of extreme hydrometeorological events-a different approach. *IAHS PUBLICATION*, n. 213, p. 167–176, 1993. Disponível em: <http://itia.ntua.gr/getfile/1106/1/documents/1993_ProbExtremeHydrolmeteorEvents.pdf>

KOTTEGODA, N. Investigation of outliers in annual maximum flow series. *Journal of Hydrology*, v. 72, 1984.

KRITSKY, S.; MENKEL, M. On principles of estimation methods of maximum discharge. 1969.

L'HOTE, Y.; MAHÉ, G. Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continues. *Hydrological Sciences*, v. 47, n. August, p. 563–572, 2002.

LIMA, F. A. L. Análise Bayesiana de Frequência de Vazões Máximas Anuais com Informações Históricas: Aplicação á Bacia do Rio São Francisco em São Francisco. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

LYE, L. M.; LIN, Y. Long-term dependence in annual peak flows of Canadian rivers. *Journal of Hydrology*, v. 160, n. 1-4, p. 89–103, ago. 1994.

MANN, H.; WHITNEY, D. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. The annals of mathematical statistics, 1947.

MCCUEN, R. H. Hydrologic Analysis and Design. New Jersey: Prentice Hall, 1989. 867p.

MENESCAL, R. A importância da Lei de Segurança de Barragens e sua regulamentação. Apresentação em meio eletrônico. Brasília, Workshop da ABRAGE, 2011.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Avaliação ambiental integrada dos aproveitamentos hidrelétricos na bacia do rio Uruguai, 2005. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/MeioAmbiente/Paginas/AAI/MeioAmbiente_2.aspx?CategoriaID=101>

MORLAT, G. Les lois de probabilités de Halphen. Revue de statistique appliquée, v. 3, p. 21–46, 1956.

MORRISON, J. E. Stochastic modeling of flood peaks using the generalized extreme value distribution. Water Resources Research, v. 38, n. 12, 2002.

MÜLLER, I.; KRÜGER, C.; KAVISKI, E. Análise de estacionariedade de séries hidrológicas na bacia incremental de Itaipu. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 3, p. 51–71, 1998.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. DE A. Hidrologia Estatística. Belo Horizonte: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2007. 552 p.

NG, W. W.; PANU, U. S.; LENNOX, W. C. Chaos based Analytical techniques for daily extreme hydrological observations. Journal of Hydrology, v. 342, n. 1-2, p. 17–41, ago. 2007.

NOAA - NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION'S NATIONAL WEATHER SERVICE. Hydrologic Information Center - Flood Loss Data. Disponível em: <<http://www.nws.noaa.gov/hic/index.shtml>>. Acesso em: 18 jul. 2013.

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Série de Vazões Naturais Médias Diárias. Disponível em: <http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx>. Acesso em: 26/10/2012.

PETTITT, A. A non-parametric approach to the change-point problem. Applied statistics, v. 28, n. 2, p. 126–135, 1979.

PILON, P. J.; HARVEY, K. D. Consolidated Frequency Analysis - Reference Manual Version 3.1 Manual, Guia, Norma Ottawa Interpretation and Applications Division Surveys and Information Systems Branch Ecosystem Sciences and Evaluation Directorate Environment Canada, 1993.

QUEIROZ, M. DE; CHAUDHRY, F. Análise de eventos hidrológicos extremos, usando-se a distribuição GEV e momentos LH. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v. 10, n. 45, p. 381–389, 2006.

QUEIROZ, M. Análise de cheias anuais segundo distribuição generalizadas. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2002.

RAO, A. R.; HAMED, K. H. Flood frequency analysis. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2000. p. 1-390

RAO, A. R.; HAMED, K. Freq082003.exe: Flood Frequency Analysis. Universidade do Cairo e Universidade de Purdue, 1993-2003. Matlab. 2003.

ROSSI, F.; FIORENTINO, M.; VERSACE, P. Two-component extreme value distribution for flood frequency analysis. Water Resources Research, 1984.

SOUZA, S. A. DE. Avaliação das metodologias para determinação de valores máximos de variáveis hidrológicas: aplicação do método conjugado. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2006.

SPSS INC. PASW Statistics Base 17.0 - User's GuideManual, Guia, Norma, 2007.

SRIKANTHAN, R.; MCMAHON, T. .; IRISH, J. . Time series analyses of annual flows of Australian streams. Journal of Hydrology, v. 66, n. 1-4, p. 213–226, out. 1983.

SSRH – Subsecretaria de Recursos Hídricos (Argentina). Séries Históricas. Disponível em: <http://www.hidricosargentina.gov.ar/acceso_bd.php>. Acesso em: Maio 2013.

STEDINGER, J. R. Frequency Analysis of Extreme Events. In: Handbook of Hydrology. [s.l: s.n.]. p. 1–68. 1993.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), 2004. p. 943

U.S. SOIL CONSERVATION SERVICE. Design Hydrographs. In: National Engineering Handbook: hydrology. [s.l.] United States Department of Agriculture, 1972. p. 1–115.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Selected Statistical Methods. In: National Engineering Handbook. [s.l: s.n.]. p. 101. 2012

VILLARINI, G.; SMITH, J. A.; SERINALDI, F.; et al. Analyses of seasonal and annual maximum daily discharge records for central Europe. Journal of Hydrology, v. 399, n. 3-4, p. 299–312, mar. 2011.

VILLARINI, G.; SMITH, J. A.; BAECK, M. L.; et al. Examining Flood Frequency Distributions in the Midwest U.S.1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, v. 47, n. 3, p. 447–463, 1 jun. 2011.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation. 1986.

YUE, S.; PILON, P.; CAVADIAS, G. Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. Journal of Hydrology, v. 259, n. 1-4, p. 254–271, mar. 2002.

8 APÊNDICES

APÊNDICE I : SÉRIES E SUBSÉRIES UTILIZADAS NAS ANÁLISES

Neste apêndice são apresentadas as séries completas (Série 1) e subséries utilizadas para aplicação dos métodos AFL, AFC e HMMP e para as análises descritas no Quadro 3.3.

A) UHE Sobradinho

Tabela 8.1 - Série Completa (Série 1) e subséries de vazões diárias máximas anuais (m³/s) utilizadas nas análises da UHE Sobradinho.

Ano	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6	Serie Conte - 1***	Serie Conte - 2***	Serie 1 s_outlier	Serie 1 _vmin_20	Serie 1 _vmaj_20
28-29							7.860	7.860			
29-30							5.383	5.383			
30-31							7.517	7.517			
31-32	5.512	5.512					5.510	5.510	5.512	5.512	5.512
32-33	6.450	6.450					6.448	6.448	6.450	6.450	6.450
33-34	6.949	6.949					6.947	6.947	6.949	6.949	6.949
34-35	6.417	6.417					6.415	6.415	6.417	6.417	6.417
35-36	4.919	4.919					4.916	4.916	4.919	4.919	4.919
36-37	6.319	6.319					6.317	6.317	6.319	6.319	6.319
37-38	6.848	6.848					6.847	6.847	6.848	6.848	6.848
38-39	7.084	7.084					7.082	7.082	7.084	7.084	7.084
39-40	6.188	6.188					6.186	6.186	6.188	6.188	6.188
40-41	5.639	5.639					5.637	5.637	5.639	5.639	5.639
41-42	5.751	5.751	5.751				5.958	5.958	5.751	5.751	5.751
42-43	11.199	11.199	11.199				11.173	11.173	11.199	11.199	11.199
43-44	7.102	7.102	7.102				7.099	7.099	7.102	7.102	7.102
44-45	9.872	9.872	9.872				9.869	9.869	9.872	9.872	9.872
45-46	11.778	11.778	11.778				11.773	11.773	11.778	11.778	11.778
46-47	7.881	7.881	7.881				7.877	7.877	7.881	7.881	7.881
47-48	6.616	6.616	6.616				6.613	6.613	6.616	6.616	6.616
48-49	15.003	15.003	15.003				14.983		15.003	15.003	15.003
49-50	5.513	5.513	5.513				5.510		5.513	5.513	5.513
50-51	5.704	5.704	5.704				5.701		5.704	5.704	5.704
51-52	7.743	7.743	7.743	7.743			7.739		7.743	7.743	7.743
52-53	5.167	5.167	5.167	5.167			5.164		5.167	5.167	5.167
53-54	5.387	5.387	5.387	5.387			5.383		5.387	5.387	5.387
54-55	5.136	5.136	5.136	5.136			5.133		5.136	5.136	5.136
55-56	5.913	5.913	5.913	5.913			5.910		5.913	5.913	5.913
56-57	8.199	8.199	8.199	8.199			8.193		8.199	8.199	8.199
57-58	5.529	5.529	5.529	5.529			5.525		5.529	5.529	5.529
58-59	4.921	4.921	4.921	4.921			4.916		4.921	4.921	4.921
59-60	7.951	7.951	7.951	7.951			7.947		7.951	7.951	7.951
60-61	8.128	8.128	8.128	8.128			6.481		8.128	8.128	8.128
61-62	5.654	5.654	5.654	5.654	5.654		5.647		5.654	5.654	5.654
62-63	7.704	7.704	7.704	7.704	7.704		7.874		7.704	7.704	7.704
63-64	8.176	8.176	8.176	8.176	8.176		8.285		8.176	8.176	8.176
64-65	6.521	6.521	6.521	6.521	6.521		6.892		6.521	6.521	6.521
65-66	7.523	7.523	7.523	7.523	7.523		7.552		7.523	7.523	7.523
66-67	6.153	6.153	6.153	6.153	6.153		6.222		6.153	6.153	6.153

Ano	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6	Serie Conte – 1***	Serie Conte – 2***	Serie 1 s_outlier	Serie 1 _vmin_20	Serie 1 _vmaj_20
67-68	7.267	7.267	7.267	7.267	7.267		7.521		7.267	7.267	7.267
68-69	5.380	5.380	5.380	5.380	5.380		5.908		5.380	5.380	5.380
69-70	6.655	6.655	6.655	6.655	6.655		6.996		6.655	6.655	6.655
70-71**	3.917	3.917	3.917	3.917	3.917	3.917	6.900		3.917	3.134	4.700
71-72	7.059		7.059	7.059	7.059	7.059	7.152		7.059	7.059	7.059
72-73	5.339		5.339	5.339	5.339	5.339	5.587		5.339	5.339	5.339
73-74	5.902		5.902	5.902	5.902	5.902	6.058		5.902	5.902	5.902
74-75	5.121		5.121	5.121	5.121	5.121	5.332		5.121	5.121	5.121
75-76**	3.359		3.359	3.359	3.359	3.359	5.750		3.359	2.687	4.031
76-77	6.777		6.777	6.777	6.777	6.777	7.244		6.777	6.777	6.777
77-78	7.640		7.640	7.640	7.640	7.640	7.441		7.640	7.640	7.640
78-79*	18.525		18.525	18.525	18.525	18.525	18.088				
79-80	13.664		13.664	13.664	13.664	13.664	13.766		13.664	13.664	13.664
80-81	6.920		6.920	6.920	6.920	6.920	6.914		6.920	6.920	6.920
81-82	9.429		9.429	9.429	9.429	9.429	9.677		9.429	9.429	9.429
82-83	10.455		10.455	10.455	10.455	10.455	10.958		10.455	10.455	10.455
83-84	6.851		6.851	6.851	6.851	6.851	7.245		6.851	6.851	6.851
84-85	9.093		9.093	9.093	9.093	9.093	9.733		9.093	9.093	9.093
85-86	8.543		8.543	8.543	8.543	8.543	8.645		8.543	8.543	8.543
86-87**	4.382		4.382	4.382	4.382	4.382			4.382	3.506	5.258
87-88	6.194		6.194	6.194	6.194	6.194			6.194	6.194	6.194
88-89	4.746		4.746	4.746	4.746	4.746			4.746	4.746	4.746
89-90	11.450		11.450	11.450	11.450	11.450			11.450	11.450	11.450
90-91	6.615		6.615	6.615	6.615	6.615			6.615	6.615	6.615
91-92	16.895				16.895	16.895			16.895	16.895	16.895
92-93	6.483				6.483	6.483			6.483	6.483	6.483
93-94	7.141				7.141	7.141			7.141	7.141	7.141
94-95	4.504				4.504	4.504			4.504	4.504	4.504
95-96	5.529				5.529	5.529			5.529	5.529	5.529
96-97	7.350				7.350	7.350			7.350	7.350	7.350
97-98	5.380				5.380	5.380			5.380	5.380	5.380
98-99	5.769				5.769	5.769			5.769	5.769	5.769
99-00	6.214				6.214	6.214			6.214	6.214	6.214
00-01	4.704				4.704	4.704			4.704	4.704	4.704
01-02	5.560					5.560			5.560	5.560	5.560
02-03	5.784					5.784			5.784	5.784	5.784
03-04	7.309					7.309			7.309	7.309	7.309
04-05	5.960					5.960			5.960	5.960	5.960
05-06	5.713					5.713			5.713	5.713	5.713
06-07	8.194					8.194			8.194	8.194	8.194
07-08	5.484					5.484			5.484	5.484	5.484
08-09	6.205					6.205			6.205	6.205	6.205
09-10	4.688					4.688			4.688	4.688	4.688

*Valor considerado *outlier*; ** Três menores valores da Série 1. Valores minorados ou majorado em 20%; ***Valores utilizados por Conte (2012) para análise da UHE Sobradinho pelo método HMMP.

B) UHE Três Marias

Tabela 8.2 - Série Completa (Série 1) e subséries de vazões diárias máximas anuais (m³/s) utilizadas nas análises da UHE Três Marias.

Ano	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6	Serie 1 _vmin_20	Serie 1 _vmaj_20
31-32	1.530	1.530					1.530	1.530
32-33	3.027	3.027					3.027	3.027
33-34	3.245	3.245					3.245	3.245
34-35	2.447	2.447					2.447	2.447
35-36*	1.365	1.365					1.092	1.638
36-37	2.908	2.908					2.908	2.908
37-38	4.205	4.205					4.205	4.205
38-39	3.766	3.766					3.766	3.766
39-40	2.647	2.647					2.647	2.647
40-41	3.223	3.223					3.223	3.223
41-42	2.847	2.847	2.847				2.847	2.847
42-43	4.064	4.064	4.064				4.064	4.064
43-44	3.580	3.580	3.580				3.580	3.580
44-45	3.649	3.649	3.649				3.649	3.649
45-46	3.962	3.962	3.962				3.962	3.962
46-47	3.065	3.065	3.065				3.065	3.065
47-48	2.759	2.759	2.759				2.759	2.759
48-49	4.205	4.205	4.205				4.205	4.205
49-50	2.285	2.285	2.285				2.285	2.285
50-51	2.893	2.893	2.893				2.893	2.893
51-52	3.202	3.202	3.202	3.202			3.202	3.202
52-53*	1.421	1.421	1.421	1.421			1.137	1.705
53-54	1.851	1.851	1.851	1.851			1.851	1.851
54-55	2.771	2.771	2.771	2.771			2.771	2.771
55-56	2.551	2.551	2.551	2.551			2.551	2.551
56-57	3.734	3.734	3.734	3.734			3.734	3.734
57-58	2.573	2.573	2.573	2.573			2.573	2.573
58-59	1.956	1.956	1.956	1.956			1.956	1.956
59-60	2.383	2.383	2.383	2.383			2.383	2.383
60-61	4.318	4.318	4.318	4.318			4.318	4.318
61-62	1.952	1.952	1.952	1.952	1.952		1.952	1.952
62-63	2.787	2.787	2.787	2.787	2.787		2.787	2.787
63-64	3.976	3.976	3.976	3.976	3.976		3.976	3.976
64-65	3.479	3.479	3.479	3.479	3.479		3.479	3.479
65-66	4.236	4.236	4.236	4.236	4.236		4.236	4.236
66-67	2.884	2.884	2.884	2.884	2.884		2.884	2.884
67-68	2.776	2.776	2.776	2.776	2.776		2.776	2.776
68-69	2.515	2.515	2.515	2.515	2.515		2.515	2.515
69-70	2.925	2.925	2.925	2.925	2.925		2.925	2.925
70-71*	1.309	1.309	1.309	1.309	1.309	1.309	1.047	1.571
71-72	3.418		3.418	3.418	3.418	3.418	3.418	3.418
72-73	3.091		3.091	3.091	3.091	3.091	3.091	3.091
73-74	1.976		1.976	1.976	1.976	1.976	1.976	1.976
74-75	2.193		2.193	2.193	2.193	2.193	2.193	2.193
75-76	2.190		2.190	2.190	2.190	2.190	2.190	2.190
76-77	2.281		2.281	2.281	2.281	2.281	2.281	2.281
77-78	4.194		4.194	4.194	4.194	4.194	4.194	4.194

Ano	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6	Serie 1 _vmin_20	Serie 1 _vmaj_20
78-79	5.744		5.744	5.744	5.744	5.744	5.744	5.744
79-80	4.344		4.344	4.344	4.344	4.344	4.344	4.344
80-81	2.425		2.425	2.425	2.425	2.425	2.425	2.425
81-82	4.710			4.710	4.710	4.710	4.710	4.710
82-83	7.245			7.245	7.245	7.245	7.245	7.245
83-84	3.821			3.821	3.821	3.821	3.821	3.821
84-85	4.586			4.586	4.586	4.586	4.586	4.586
85-86	3.663			3.663	3.663	3.663	3.663	3.663
86-87	2.537			2.537	2.537	2.537	2.537	2.537
87-88	2.889			2.889	2.889	2.889	2.889	2.889
88-89	1.561			1.561	1.561	1.561	1.561	1.561
89-90	2.790			2.790	2.790	2.790	2.790	2.790
90-91	3.827			3.827	3.827	3.827	3.827	3.827
91-92	6.040				6.040	6.040	6.040	6.040
92-93	2.917				2.917	2.917	2.917	2.917
93-94	3.477				3.477	3.477	3.477	3.477
94-95	2.006				2.006	2.006	2.006	2.006
95-96	2.990				2.990	2.990	2.990	2.990
96-97	6.762				6.762	6.762	6.762	6.762
97-98	2.575				2.575	2.575	2.575	2.575
98-99	2.850				2.850	2.850	2.850	2.850
99-00	3.341				3.341	3.341	3.341	3.341
00-01	1.850				1.850	1.850	1.850	1.850
01-02	3.896					3.896	3.896	3.896
02-03	3.039					3.039	3.039	3.039
03-04	3.485					3.485	3.485	3.485
04-05	3.218					3.218	3.218	3.218
05-06	4.275					4.275	4.275	4.275
06-07	4.156					4.156	4.156	4.156
07-08	3.303					3.303	3.303	3.303
08-09	4.181					4.181	4.181	4.181
09-10	2.241					2.241	2.241	2.241

*Três menores valores da Série 1. Valores minorados ou majorado em 20%.

Ano	Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4	Serie 5	Serie 6	Serie 1 s_ outlier	Serie 1 _vmin _20	Serie 1 _vmaj _20
1977	13.738		13.738	13.738	13.738	13.738	13.738	13.738	13.738
1978**	2.369		2.369	2.369	2.369	2.369			
1979	24.395		24.395	24.395	24.395	24.395	24.395	24.395	24.395
1980	15.039		15.039	15.039	15.039	15.039	15.039	15.039	15.039
1981***	6.122			6.122	6.122	6.122	6.122	4.898	7.347
1982	23.855			23.855	23.855	23.855	23.855	23.855	23.855
1983	35.075			35.075	35.075	35.075	35.075	35.075	35.075
1984	21.522			21.522	21.522	21.522	21.522	21.522	21.522
1985	14.429			14.429	14.429	14.429	14.429	14.429	14.429
1986	20.593			20.593	20.593	20.593	20.593	20.593	20.593
1987	22.153			22.153	22.153	22.153	22.153	22.153	22.153
1988	10.689			10.689	10.689	10.689	10.689	10.689	10.689
1989	19.685			19.685	19.685	19.685	19.685	19.685	19.685
1990	31.358			31.358	31.358	31.358	31.358	31.358	31.358
1991	11.860				11.860	11.860	11.860	11.860	11.860
1992	28.710				28.710	28.710	28.710	28.710	28.710
1993	15.796				15.796	15.796	15.796	15.796	15.796
1994	18.909				18.909	18.909	18.909	18.909	18.909
1995	13.584				13.584	13.584	13.584	13.584	13.584
1996	11.632				11.632	11.632	11.632	11.632	11.632
1997	31.739				31.739	31.739	31.739	31.739	31.739
1998	23.485				23.485	23.485	23.485	23.485	23.485
1999	14.176				14.176	14.176	14.176	14.176	14.176
2000	15.796				15.796	15.796	15.796	15.796	15.796
2001	16.098					16.098	16.098	16.098	16.098
2002	23.731					23.731	23.731	23.731	23.731
2003	20.708					20.708	20.708	20.708	20.708
2004	8.710					8.710	8.710	8.710	8.710
2005	23.855					23.855	23.855	23.855	23.855
2006	8.446					8.446	8.446	8.446	8.446
2007	13.987					13.987	13.987	13.987	13.987

*Série 1, obtida no Estudo de Inventário Hidroelétrico da Bacia do Rio Uruguai no Trecho compartilhado entre Argentina e Brasil (CNEC/ESIN/PROA, 2010); **Valor considerado outlier;

***Três menores valores da Série 1. Valores minorados ou majorado em 20%.

Tabela 8.4 - Série Completa (Série 1_SSRH*) e subséries de vazões diárias máximas anuais (m³/s) utilizadas nas análises da estação fluviométrica Paso de Los Libres.

Ano	Serie 1_ SSRH	Serie 2_ SSRH	Serie 3_ SSRH	Serie 4_ SSRH	Serie 5_ SSRH	Serie 6_ SSRH	Serie 6_ SSRH	Serie1 s_ outlier _SSRH	Serie1 _vmin _20_ SSRH	Serie1 _vmaj _20_ SSRH
1909	9.062	9.062						9.062	9.062	9.062
1910	13.820	13.820						13.820	13.820	13.820
1911	23.686	23.686						23.686	23.686	23.686
1912	18.532	18.532						18.532	18.532	18.532
1913	12.864	12.864						12.864	12.864	12.864
1914	17.082	17.082						17.082	17.082	17.082
1915	16.785	16.785						16.785	16.785	16.785
1916	20.848	20.848						20.848	20.848	20.848
1917**	3.039	3.039								
1918	14.928	14.928						14.928	14.928	14.928
1919	23.148	23.148						23.148	23.148	23.148
1920										
1921	17.670	17.670						17.670	17.670	17.670
1922	15.643	15.643						15.643	15.643	15.643
1923	30.369	30.369						30.369	30.369	30.369
1924	10.183	10.183						10.183	10.183	10.183
1925	16.513	16.513						16.513	16.513	16.513
1926	16.513	16.513						16.513	16.513	16.513
1927	24.785	24.785						24.785	24.785	24.785
1928	25.850	25.850						25.850	25.850	25.850
1929	30.604	30.604	30.604					30.604	30.604	30.604
1930	16.729	16.729	16.729					16.729	16.729	16.729
1931	11.632	11.632	11.632				11.632	11.632	11.632	11.632
1932	19.547	19.547	19.547				19.547	19.547	19.547	19.547
1933	12.370	12.370	12.370				12.370	12.370	12.370	12.370
1934	10.272	10.272	10.272				10.272	10.272	10.272	10.272
1935	26.092	26.092	26.092				26.092	26.092	26.092	26.092
1936	26.563	26.563	26.563				26.563	26.563	26.563	26.563
1937	14.082	14.082	14.082				14.082	14.082	14.082	14.082
1938	16.698	16.698	16.698				16.698	16.698	16.698	16.698
1939	18.398	18.398	18.398				18.398	18.398	18.398	18.398
1940	14.027	14.027	14.027				14.027	14.027	14.027	14.027
1941	33.239	33.239	33.239				33.239	33.239	33.239	33.239
1942	18.747	18.747	18.747				18.747	18.747	18.747	18.747
1943	11.352	11.352	11.352				11.352	11.352	11.352	11.352
1944***	7.618	7.618	7.618				7.618	7.618	6.095	9.142
1945***	7.844	7.844	7.844				7.844	7.844	6.275	9.413
1946	11.725	11.725	11.725				11.725	11.725	11.725	11.725
1947	14.929	14.929	14.929				14.929	14.929	14.929	14.929
1948	12.988	12.988	12.988				12.988	12.988	12.988	12.988
1949	10.803	10.803	10.803	10.803			10.803	10.803	10.803	10.803
1950	16.293		16.293	16.293			16.293	16.293	16.293	16.293
1951	17.053		17.053	17.053			17.053	17.053	17.053	17.053
1952	12.852		12.852	12.852			12.852	12.852	12.852	12.852
1953	21.302		21.302	21.302			21.302	21.302	21.302	21.302
1954	22.076		22.076	22.076			22.076	22.076	22.076	22.076
1955	14.120		14.120	14.120			14.120	14.120	14.120	14.120

Ano	Serie 1_ SSRH	Serie 2_ SSRH	Serie 3_ SSRH	Serie 4_ SSRH	Serie 5_ SSRH	Serie 6_ SSRH	Serie 6_ SSRH	Serie1 s_ outlier _SSRH	Serie1 _vmin _20_ SSRH	Serie1 _vmaj _20_ SSRH
1956	13.778		13.778	13.778			13.778	13.778	13.778	13.778
1957	14.112		14.112	14.112			14.112	14.112	14.112	14.112
1958	12.043		12.043	12.043			12.043	12.043	12.043	12.043
1959	15.158		15.158	15.158			15.158	15.158	15.158	15.158
1960	14.323		14.323	14.323			14.323	14.323	14.323	14.323
1961	20.562		20.562	20.562			20.562	20.562	20.562	20.562
1962	9.866		9.866	9.866			9.866	9.866	9.866	9.866
1963	26.563		26.563	26.563			26.563	26.563	26.563	26.563
1964	9.753		9.753	9.753			9.753	9.753	9.753	9.753
1965	24.193		24.193	24.193			24.193	24.193	24.193	24.193
1966	14.937		14.937	14.937			14.937	14.937	14.937	14.937
1967	18.189		18.189	18.189			18.189	18.189	18.189	18.189
1968	9.497		9.497	9.497			9.497	9.497	9.497	9.497
1969	14.700			14.700	14.700		14.700	14.700	14.700	14.700
1970	13.148			13.148	13.148		13.148	13.148	13.148	13.148
1971	14.821			14.821	14.821		14.821	14.821	14.821	14.821
1972	29.137			29.137	29.137		29.137	29.137	29.137	29.137
1973	18.305			18.305	18.305	18.305	18.305	18.305	18.305	18.305
1974	10.050			10.050	10.050	10.050	10.050	10.050	10.050	10.050
1975	15.179			15.179	15.179	15.179	15.179	15.179	15.179	15.179
1976	12.672			12.672	12.672	12.672	12.672	12.672	12.672	12.672
1977	13.325			13.325	13.325	13.325	13.325	13.325	13.325	13.325
1978	15.091			15.091	15.091	15.091	15.091	15.091	15.091	15.091
1979	24.953			24.953	24.953	24.953	24.953	24.953	24.953	24.953
1980	14.511			14.511	14.511	14.511	14.511	14.511	14.511	14.511
1981***	6.593			6.593	6.593	6.593	6.593	6.593	5.275	7.912
1982	24.332			24.332	24.332	24.332	24.332	24.332	24.332	24.332
1983	38.256			38.256	38.256	38.256	38.256	38.256	38.256	38.256
1984	21.587			21.587	21.587	21.587	21.587	21.587	21.587	21.587
1985	13.893			13.893	13.893	13.893	13.893	13.893	13.893	13.893
1986	22.970			22.970	22.970	22.970	22.970	22.970	22.970	22.970
1987	22.349			22.349	22.349	22.349	22.349	22.349	22.349	22.349
1988	10.750			10.750	10.750	10.750	10.750	10.750	10.750	10.750
1989	19.561				19.561	19.561	19.561	19.561	19.561	19.561
1990	33.267				33.267	33.267	33.267	33.267	33.267	33.267
1991	11.749				11.749	11.749	11.749	11.749	11.749	11.749
1992	30.153				30.153	30.153	30.153	30.153	30.153	30.153
1993	15.307				15.307	15.307	15.307	15.307	15.307	15.307
1994	18.714				18.714	18.714	18.714	18.714	18.714	18.714
1995	13.215				13.215	13.215	13.215	13.215	13.215	13.215
1996	11.568				11.568	11.568	11.568	11.568	11.568	11.568
1997	33.921				33.921	33.921	33.921	33.921	33.921	33.921
1998	23.917				23.917	23.917	23.917	23.917	23.917	23.917
1999	13.692				13.692	13.692	13.692	13.692	13.692	13.692
2000	15.318				15.318	15.318	15.318	15.318	15.318	15.318
2001	14.677				14.677	14.677	14.677	14.677	14.677	14.677
2002	24.185				24.185	24.185	24.185	24.185	24.185	24.185
2003	18.356				18.356	18.356	18.356	18.356	18.356	18.356
2004	13.297				13.297	13.297	13.297	13.297	13.297	13.297
2005	21.659				21.659	21.659	21.659	21.659	21.659	21.659

Ano	Serie 1_ SSRH	Serie 2_ SSRH	Serie 3_ SSRH	Serie 4_ SSRH	Serie 5_ SSRH	Serie 6_ SSRH	Serie 6_ SSRH	Serie1 s_ outlier _SSRH	Serie1 _vmin _20_ SSRH	Serie1 _vmaj _20_ SSRH
2006	8.154				8.154	8.154	8.154	8.154	8.154	8.154
2007	12.969				12.969	12.969	12.969	12.969	12.969	12.969
2008	19.108				19.108	19.108		19.108	19.108	19.108
2009	21.647					21.647		21.647	21.647	21.647
2010	13.988					13.988		13.988	13.988	13.988
2011	14.720					14.720		14.720	14.720	14.720
2012	11.102					11.102		11.102	11.102	11.102

*Série 1_SSRH, obtida a partir da série de vazões médias diárias disponibilizada no banco de dados da Subsecretaria de Recursos Hídricos da Argentina (SSRH, 2013); **Valor considerado outlier; ***Três menores valores da Série 1. Valores minorados ou majorado em 20%.

APÊNDICE II : RESULTADOS PARA O MÉTODO DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA LOCAL (AFL)

A) UHE Sobradinho

A.1 Vazões Estimadas

Figura 8.1 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada pelo método da MV (resultados iguais pelos momentos B e UB) utilizando as distribuições: (a) LN3; (b) GLOG; (c) EV1; (d) LOG, para UHE Sobradinho.

Figura 8.2 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada pelo método da MV (resultados iguais pelos momentos B e UB) utilizando as distribuições: (a) LN2; (b) GAM; (c) LPIII; (d) PIII, para UHE Sobradinho.

Figura 8.3 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada pelo método da MM para o momento B utilizando as distribuições: (a) PIII; (b) GPAR; (c) W, para UHE Sobradinho.

Figura 8.4 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada pelo método da MP para o momento B utilizando as distribuições: (a) GEV; (b) EXP, para UHE Sobradinho.

B) UHE Três Marias

B.1 Vazões Estimadas

Figura 8.5 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada pelo método da MM para o momento B utilizando as distribuições: (a) GLOG; (b) W; (c) LN2, para UHE Três Marias.

Figura 8.6 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada pelo método da MV (resultados iguais pelos momentos B e UB) utilizando as distribuições: (a) PIII; (b) LN3; (c) EV1; (d) GAM; (e) LPIII, para UHE Três Marias.

Figura 8.7 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada pelo método da MP para o momento B utilizando as distribuições: (a) GEV; (b) GPAR; (c) N; (d) EXP; (e) LOG, para UHE Três Marias.

C) Estação Fluviométrica Paso De Los Libres

C.1 Vazões Estimadas

Figura 8.8 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada para a Série 1 e subséries utilizando os métodos: (a) B e UB-MV-EV1; (b) B-MP-EXP; (c) B-MM-LPIII, para Paso de Los Libres.

Figura 8.9 - Vazões estimadas pelo método da AFL ajustada para a Série 1_SSRH e subséries utilizando os métodos: (a) B e UB-MV-EV1; (b) B-MP-EXP; (c) B e UB-MV-LPIII, para Paso de Los Libres.

APÊNDICE III : RESULTADOS PARA O MÉTODO DA ANÁLISE DE FREQUÊNCIA CONJUGADA (AFC)

A) UHE Sobradinho

A.1 Vazões Estimadas

Figura 8.10 - Vazões estimadas pelo método da AFC ajustada pelo método: (a) MQ; (b) MM e (c) MV, para UHE Sobradinho.

A.2 Análise da sensibilidade ao valor da CMP

Tabela 8.5 - Vazões (m³/s) estimadas pelo método do AFC utilizando o MQ, Série 1 e Série 1 s_outlier, para análise da sensibilidade do método ao valor da CMP, para UHE Sobradinho.

CMP (m³/s)	-20%	original	+20%	-20%	original	+20%
	29.040	36.300	43.560	29.040	36.300	43.560
T (anos)	Série1			Série1 s_outlier		
10	11.755	11.526	11.412	10.818	10.680	10.610
20	13.360	13.150	13.048	12.201	12.081	12.021
50	15.218	15.096	15.044	13.836	13.781	13.760
100	16.464	16.445	16.453	14.957	14.976	14.999
200	17.594	17.705	17.787	15.991	16.104	16.183
500	18.931	19.245	19.448	17.240	17.501	17.669
1.000	19.837	20.324	20.632	18.104	18.492	18.739
2.000	20.662	21.334	21.757	18.905	19.431	19.765
5.000	21.639	22.572	23.160	19.874	20.596	21.055
10.000	22.302	23.440	24.161	20.545	21.424	21.984

Tabela 8.6 - Diferença percentual máxima (DM) entre as vazões (m³/s) inferidas pelo método AFC utilizando o MQ, Série 1 e Série 1 s_outlier, para análise da sensibilidade do método ao valor da CMP, para UHE Sobradinho.

CMP (m³/s)	-20%	+20%	-20%	+20%
	29.040	43.560	29.040	43.560
T (anos)	Série1		Série1 s_outlier	
10	2%	-1%	1%	-1%
20	2%	-1%	1%	0%
50	1%	0%	0%	0%
100	0%	0%	0%	0%
200	-1%	0%	-1%	0%
500	-2%	1%	-1%	1%
1.000	-2%	2%	-2%	1%
2.000	-3%	2%	-3%	2%
5.000	-4%	3%	-4%	2%
10.000	-5%	3%	-4%	3%

B) UHE Três Marias

B.1 Vazões Estimadas

Figura 8.11 - Vazões estimadas pelo método da AFC ajustada pelo método: (a) MQ; (b) MM e (c) MV, para UHE Três Marias.

B.2 Análise da sensibilidade ao valor da CMP

Tabela 8.7 - Vazões (m³/s) estimadas pelo método do AFC utilizando o MM para análise da sensibilidade do método ao valor da CMP, para a Série 1 da UHE Três Marias.

CMP	-20%	original	+20%
	7.984	9.980	11.976
T(anos)	Série1		
10	4.690	4.702	4.683
20	5.136	5.209	5.211
50	5.626	5.793	5.838
100	5.937	6.183	6.270
200	6.206	6.536	6.670
500	6.507	6.951	7.155
1.000	6.701	7.232	7.492
2.000	6.869	7.486	7.805
5.000	7.058	7.787	8.186
10.000	7.179	7.990	8.450

Tabela 8.8 - Diferença percentual máxima (DM) entre as vazões (m³/s) inferidas pelo método AFC utilizando o MM, para a Série 1 da UHE Três Marias, na análise da sensibilidade do método ao valor da CMP.

CMP	-20%	+20%
(m³/s)	7.984	11.976
T (anos)	Série1	
10	0%	0%
20	-1%	0%
50	-3%	1%
100	-4%	1%
200	-5%	2%
500	-6%	3%
1.000	-7%	4%
2.000	-8%	4%
5.000	-9%	5%
10.000	-10%	6%

APÊNDICE IV : RESULTADOS PARA O MÉTODO DO HIDROGRAMA MÁXIMO MAIS PROVÁVEL (HMMP)

A) UHE Sobradinho

A.1 Vazões Médias Máximas Diárias e para os *TBs*

Tabela 8.9 - Séries de vazões máximas médias diárias anuais e vazões médias com duração de *TB1*, *TB2* e *TB3*, ordenadas para serem plotadas num papel mono-logarítmico, para UHE Sobradinho.

T (anos)	Anual		<i>TB1</i> *		<i>TB2</i> *		<i>TB3</i> *	
	Ano	<i>Q</i> (m³/s)	Ano	<i>Q_{TB1}</i> (m³/s)	Ano	<i>Q_{TB2}</i> (m³/s)	Ano	<i>Q_{TB3}</i> (m³/s)
79,00	78-79	18.525	48-49	7.677	78-79	7.429	78-79	7.194
39,50	91-92	16.895	78-79	7.672	48-49	7.423	48-49	7.184
26,33	48-49	15.003	44-45	6.897	44-45	6.715	44-45	6.533
19,75	79-80	13.664	81-82	6.683	81-82	6.516	81-82	6.341
15,80	45-46	11.778	79-80	6.492	79-80	6.317	79-80	6.140
13,17	89-90	11.450	56-57	6.288	56-57	6.112	56-57	5.933
11,29	42-43	11.199	45-46	6.169	45-46	6.018	45-46	5.865
9,88	82-83	10.455	42-43	6.147	42-43	5.960	42-43	5.786
8,78	44-45	9.872	91-92	6.144	91-92	5.942	91-92	5.747
7,90	81-82	9.429	82-83	5.819	82-83	5.624	82-83	5.447
7,18	84-85	9.093	84-85	5.226	49-50	5.128	49-50	5.310
6,58	85-86	8.543	46-47	5.024	84-85	5.054	84-85	4.892
6,08	56-57	8.199	60-61	4.980	46-47	4.918	46-47	4.803
5,64	06-07	8.194	64-65	4.905	60-61	4.819	80-81	4.729
5,27	63-64	8.176	49-50	4.868	64-65	4.787	57-58	4.700
4,94	60-61	8.128	06-07	4.825	06-07	4.676	60-61	4.666
4,65	59-60	7.951	65-66	4.778	65-66	4.668	64-65	4.665
4,39	46-47	7.881	80-81	4.746	80-81	4.625	83-84	4.604
4,16	51-52	7.743	67-68	4.699	67-68	4.560	65-66	4.552
3,95	62-63	7.704	47-48	4.668	57-58	4.559	06-07	4.532
3,76	77-78	7.640	43-44	4.635	47-48	4.546	92-93	4.499
3,59	65-66	7.523	69-70	4.577	43-44	4.507	47-48	4.425
3,43	96-97	7.350	77-78	4.461	83-84	4.451	67-68	4.421
3,29	03-04	7.309	57-58	4.443	69-70	4.434	43-44	4.382
3,16	67-68	7.267	59-60	4.409	77-78	4.358	69-70	4.296
3,04	93-94	7.141	51-52	4.379	59-60	4.289	77-78	4.260
2,93	43-44	7.102	92-93	4.374	92-93	4.245	59-60	4.165
2,82	38-39	7.084	85-86	4.349	51-52	4.244	31-32	4.145
2,72	71-72	7.059	34-35	4.315	85-86	4.221	51-52	4.122
2,63	33-34	6.949	83-84	4.267	34-35	4.177	85-86	4.096
2,55	80-81	6.920	89-90	4.251	40-41	4.123	34-35	4.047
2,47	83-84	6.851	40-41	4.234	96-97	4.110	40-41	4.015
2,39	37-38	6.848	96-97	4.229	89-90	4.101	96-97	3.999
2,32	76-77	6.777	03-04	4.169	31-32	4.080	89-90	3.961
2,26	69-70	6.655	50-51	4.108	03-04	4.029	50-51	3.913
2,19	47-48	6.616	37-38	4.019	50-51	4.010	73-74	3.903
2,14	90-91	6.615	73-74	4.002	73-74	3.960	03-04	3.898
2,08	64-65	6.521	93-94	3.974	37-38	3.893	37-38	3.776

T (anos)	Anual		TB1*		TB2*		TB3*	
	Ano	Q (m³/s)	Ano	Q _{TB1} (m³/s)	Ano	Q _{TB2} (m³/s)	Ano	Q _{TB3} (m³/s)
2,03	92-93	6.483	31-32	3.971	93-94	3.851	93-94	3.732
1,98	32-33	6.450	71-72	3.919	71-72	3.803	71-72	3.694
1,93	34-35	6.417	08-09	3.833	08-09	3.728	08-09	3.621
1,88	36-37	6.319	38-39	3.804	38-39	3.684	72-73	3.581
1,84	99-00	6.214	32-33	3.791	72-73	3.682	52-53	3.577
1,80	08-09	6.205	72-73	3.790	32-33	3.674	32-33	3.568
1,76	87-88	6.194	90-91	3.773	90-91	3.656	38-39	3.567
1,72	39-40	6.188	66-67	3.754	66-67	3.656	66-67	3.563
1,68	66-67	6.153	41-42	3.734	36-37	3.649	36-37	3.550
1,65	04-05	5.960	36-37	3.734	41-42	3.631	90-91	3.544
1,61	55-56	5.913	62-63	3.732	62-63	3.608	41-42	3.533
1,58	73-74	5.902	99-00	3.717	99-00	3.604	62-63	3.498
1,55	02-03	5.784	04-05	3.669	76-77	3.556	99-00	3.494
1,52	98-99	5.769	63-64	3.665	04-05	3.551	76-77	3.453
1,49	41-42	5.751	76-77	3.657	63-64	3.529	04-05	3.439
1,46	05-06	5.713	87-88	3.633	87-88	3.522	87-88	3.412
1,44	50-51	5.704	05-06	3.591	52-53	3.508	63-64	3.405
1,41	61-62	5.654	39-40	3.564	05-06	3.491	05-06	3.394
1,39	40-41	5.639	61-62	3.400	39-40	3.456	39-40	3.353
1,36	01-02	5.560	52-53	3.397	61-62	3.296	35-36	3.307
1,32	57-58	5.529	33-34	3.282	33-34	3.199	61-62	3.197
1,34	95-96	5.529	55-56	3.382	55-56	3.293	55-56	3.219
1,30	49-50	5.513	68-69	3.219	35-36	3.178	68-69	3.130
1,27	31-32	5.512	01-02	3.069	68-69	3.131	33-34	3.110
1,25	07-08	5.484	35-36	3.009	01-02	2.963	01-02	2.863
1,23	53-54	5.387	07-08	3.000	07-08	2.905	74-75	2.838
1,20	68-69	5.380	53-54	2.858	58-59	2.798	58-59	2.733
1,22	97-98	5.380	74-75	2.942	74-75	2.896	07-08	2.814
1,18	72-73	5.339	58-59	2.856	53-54	2.786	53-54	2.715
1,16	52-53	5.167	02-03	2.844	02-03	2.758	02-03	2.678
1,14	54-55	5.136	98-99	2.796	98-99	2.713	98-99	2.636
1,13	74-75	5.121	94-95	2.727	94-95	2.658	94-95	2.633
1,11	58-59	4.921	97-98	2.699	09-10	2.649	09-10	2.581
1,10	35-36	4.919	09-10	2.691	97-98	2.615	97-98	2.579
1,08	88-89	4.746	54-55	2.686	54-55	2.604	54-55	2.529
1,07	00-01	4.704	95-96	2.615	95-96	2.537	70-71	2.486
1,05	09-10	4.688	88-89	2.546	88-89	2.480	95-96	2.464
1,04	94-95	4.504	86-87	2.459	86-87	2.404	86-87	2.422
1,03	86-87	4.382	00-01	2.217	70-71	2.274	88-89	2.414
1,01	70-71	3.917	75-76	2.175	00-01	2.167	00-01	2.358
1,00	75-76	3.359	70-71	2.068	75-76	2.127	75-76	2.076

*TB: tempo de base com valores TB1=180 dias, TB2=190 dias e TB3=200 dias.

A.2 Vazões estimadas

Figura 8.12 - Vazões estimadas pelo método do HMMP utilizando d.e.s. para: (a) TB1; (b) TB2 e (c) TB3, para UHE Sobradinho.

Figura 8.13 - Vazões estimadas pelo método do HMMP utilizando r.l.s. para: (a) *TB1*; (b) *TB2* e (c) *TB3*, para UHE Sobradinho.

Tabela 8.10 - Vazões de pico diário (Q_P) estimadas pelo método do HMMP pela Série 1, para UHE Sobradinho.

T (anos)	d.e.s.			r.l.s.		
	$Q_P(TB1)$	$Q_P(TB2)$	$Q_P(TB3)$	$Q_P(TB1)$	$Q_P(TB2)$	$Q_P(TB3)$
1	2.830	2.780	2.743	3.022	2.799	2.759
10	13.817	13.396	13.005	14.268	13.682	13.297
20	17.124	16.592	16.095	17.653	16.959	16.470
50	21.496	20.816	20.179	22.128	21.289	20.663
100	24.804	24.012	23.268	25.513	24.566	23.836
200	28.111	27.208	26.357	28.898	27.842	27.008
500	32.483	31.432	30.441	33.373	32.173	31.202
1000	35.790	34.628	33.530	36.759	35.449	34.374
2000	39.098	37.824	36.620	40.144	38.725	37.546
5000	43.470	42.048	40.703	44.619	43.056	41.740
10000	46.777	45.244	43.793	48.004	46.332	44.912

A.3 Comparação entre a d.e.s. e a r.l.s.

Tabela 8.11 - Diferença entre as vazões inferidas pela d.e.s. e a r.l.s. pelo método do HMMP, utilizando os parâmetros ajustados para a Série 1 da UHE Sobradinho.

T	TB1	TB2	TB3
1	6%	1%	1%
10	3%	2%	2%
20	3%	2%	2%
50	3%	2%	2%
100	3%	2%	2%
200	3%	2%	2%
500	3%	2%	2%
1.000	3%	2%	2%
2.000	3%	2%	2%
5.000	3%	2%	2%
10.000	3%	2%	2%

B) UHE Três Marias

B.1 Vazões Médias Máximas Diárias e para os TBs

Tabela 8.12 - Séries de vazões máximas médias diárias anuais e vazões médias com duração de TB1, TB2 e TB3, ordenadas para serem plotadas num papel mono-logarítmico, para UHE Três Marias.

T (anos)	Anual		TB1*		TB2*		TB3*	
	Ano	Q (m³/s)	Ano	Q _{TB1} (m³/s)	Ano	Q _{TB2} (m³/s)	Ano	Q _{TB3} (m³/s)
79,00	82-83	7.245	82-83	2.715	82-83	2.376	82-83	2.091
39,50	96-97	6.762	81-82	2.310	81-82	2.174	81-82	1.924
26,33	91-92	6.040	78-79	2.241	78-79	1.935	78-79	1.676
19,75	78-79	5.744	48-49	2.080	48-49	1.838	83-84	1.637
15,80	81-82	4.710	06-07	2.064	42-43	1.745	48-49	1.614
13,17	84-85	4.586	42-43	2.012	06-07	1.727	42-43	1.531
11,29	79-80	4.344	84-85	1.998	84-85	1.719	84-85	1.496
9,88	60-61	4.318	64-65	1.915	64-65	1.657	06-07	1.493
8,78	05-06	4.275	08-09	1.870	96-97	1.639	64-65	1.456
7,90	65-66	4.236	96-97	1.869	45-46	1.630	45-46	1.440
7,18	37-38	4.205	91-92	1.857	08-09	1.579	96-97	1.435
6,58	48-49	4.205	60-61	1.825	91-92	1.571	08-09	1.364
6,08	77-78	4.194	45-46	1.815	60-61	1.566	91-92	1.361
5,64	08-09	4.181	79-80	1.766	79-80	1.511	60-61	1.360
5,27	06-07	4.156	51-52	1.684	65-66	1.482	79-80	1.327
4,94	42-43	4.064	65-66	1.670	51-52	1.423	65-66	1.320
4,65	63-64	3.976	38-39	1.621	44-45	1.415	44-45	1.263
4,39	45-46	3.962	83-84	1.603	66-67	1.410	46-47	1.248
4,16	01-02	3.896	46-47	1.599	38-39	1.400	66-67	1.243
3,95	90-91	3.827	44-45	1.588	46-47	1.395	51-52	1.243
3,76	83-84	3.821	37-38	1.584	37-38	1.385	38-39	1.225
3,59	38-39	3.766	66-67	1.581	83-84	1.380	37-38	1.216
3,43	56-57	3.734	90-91	1.475	50-51	1.277	50-51	1.145
3,29	85-86	3.663	07-08	1.428	56-57	1.252	49-50	1.122
3,16	44-45	3.649	03-04	1.417	92-93	1.246	40-41	1.112
3,04	43-44	3.580	56-57	1.416	40-41	1.240	92-93	1.110
2,93	03-04	3.485	04-05	1.380	03-04	1.236	52-53	1.105
2,82	64-65	3.479	92-93	1.359	90-91	1.232	56-57	1.099
2,72	93-94	3.477	50-51	1.352	07-08	1.224	72-73	1.088
2,63	71-72	3.418	99-00	1.322	72-73	1.196	03-04	1.079
2,55	99-00	3.341	85-86	1.320	04-05	1.189	07-08	1.064
2,47	07-08	3.303	67-68	1.312	67-68	1.171	90-91	1.057
2,39	33-34	3.245	40-41	1.309	99-00	1.163	04-05	1.040
2,32	40-41	3.223	62-63	1.286	71-72	1.147	67-68	1.038
2,26	04-05	3.218	93-94	1.267	85-86	1.135	99-00	1.023
2,19	51-52	3.202	72-73	1.263	93-94	1.103	71-72	1.014
2,14	72-73	3.091	71-72	1.257	34-35	1.099	85-86	1.008
2,08	46-47	3.065	34-35	1.244	43-44	1.088	73-74	985
2,03	02-03	3.039	32-33	1.207	73-74	1.081	47-48	974
1,98	32-33	3.027	61-62	1.202	62-63	1.079	34-35	970
1,93	95-96	2.990	43-44	1.201	47-48	1.056	93-94	969
1,88	69-70	2.925	97-98	1.195	69-70	1.048	43-44	965

T (anos)	Anual		TB1*		TB2*		TB3*	
	Ano	Q (m³/s)	Ano	Q _{TB1} (m³/s)	Ano	Q _{TB2} (m³/s)	Ano	Q _{TB3} (m³/s)
1,84	92-93	2.917	41-42	1.190	32-33	1.047	31-32	951
1,80	36-37	2.908	47-48	1.188	41-42	1.038	62-63	929
1,76	50-51	2.893	76-77	1.176	76-77	1.035	69-70	927
1,72	87-88	2.889	69-70	1.174	97-98	1.034	32-33	922
1,68	66-67	2.884	01-02	1.167	61-62	1.025	76-77	920
1,65	98-99	2.850	36-37	1.151	36-37	1.012	97-98	915
1,61	41-42	2.847	49-50	1.140	05-06	1.007	36-37	914
1,58	89-90	2.790	87-88	1.126	49-50	1.006	41-42	912
1,55	62-63	2.787	02-03	1.125	01-02	994	09-10	898
1,52	67-68	2.776	73-74	1.125	59-60	971	61-62	896
1,49	54-55	2.771	05-06	1.110	87-88	966	05-06	892
1,46	47-48	2.759	59-60	1.106	39-40	961	01-02	863
1,44	39-40	2.647	39-40	1.104	02-03	945	59-60	851
1,41	97-98	2.575	74-75	1.063	77-78	927	87-88	840
1,39	57-58	2.573	77-78	1.044	80-81	927	39-40	839
1,36	55-56	2.551	80-81	1.022	74-75	923	77-78	828
1,32	86-87	2.537	95-96	980	98-99	878	02-03	824
1,34	68-69	2.515	55-56	965	95-96	855	80-81	824
1,30	34-35	2.447	98-99	958	86-87	839	74-75	809
1,27	80-81	2.425	86-87	940	55-56	829	57-58	788
1,25	59-60	2.383	57-58	935	57-58	827	98-99	780
1,23	49-50	2.285	33-34	919	52-53	802	35-36	766
1,20	76-77	2.281	63-64	912	33-34	796	95-96	752
1,22	09-10	2.241	89-90	870	94-95	760	55-56	745
1,18	74-75	2.193	94-95	843	09-10	758	86-87	737
1,16	75-76	2.190	09-10	830	89-90	754	00-01	724
1,14	94-95	2.006	31-32	818	63-64	752	33-34	711
1,13	73-74	1.976	68-69	815	31-32	733	94-95	683
1,11	58-59	1.956	88-89	722	68-69	722	89-90	660
1,10	61-62	1.952	58-59	702	53-54	628	68-69	649
1,08	53-54	1.851	53-54	686	88-89	623	63-64	646
1,07	00-01	1.850	54-55	658	58-59	616	53-54	562
1,05	52-53	1.705	00-01	652	54-55	600	58-59	562
1,04	35-36	1.638	52-53	652	35-36	578	88-89	553
1,03	70-71	1.571	75-76	617	75-76	577	54-55	527
1,01	88-89	1.561	35-36	604	00-01	565	75-76	523
1,00	31-32	1.530	70-71	406	70-71	363	70-71	433

*TB: tempo de base com valores TB1=130 dias, TB2=170 dias e TB3=210 dias.

B.2 Vazões estimadas

Figura 8.14 - Vazões estimadas pelo método do HMMP utilizando d.e.s. para: (a) *TB1*; (b) *TB2* e (c) *TB3*, para UHE Três Marias.

Figura 8.15 - Vazões estimadas pelo método do HMMP utilizando r.l.s. para: (a) TB1; (b) TB2 e (c) TB3, para UHE Três Marias.

Tabela 8.13 - Vazões de pico diário (Q_P) estimadas pelo método do HMMP pela Série 1, para UHE Três Marias.

T (anos)	d.e.s.			r.l.s.		
	$Q_P(TB1)$	$Q_P(TB2)$	$Q_P(TB3)$	$Q_P(TB1)$	$Q_P(TB2)$	$Q_P(TB3)$
1	824	737	693	842	750	703
10	4.851	4.195	3.616	4.900	4.253	3.669
20	6.064	5.236	4.497	6.122	5.308	4.562
50	7.666	6.612	5.660	7.737	6.702	5.742
100	8.879	7.653	6.540	8.959	7.756	6.635
200	10.091	8.694	7.420	10.180	8.811	7.528
500	11.694	10.071	8.583	11.795	10.205	8.708
1000	12.906	11.112	9.463	13.017	11.259	9.601
2000	14.118	12.153	10.344	14.239	12.314	10.493
5000	15.721	13.529	11.507	15.854	13.708	11.674
10000	16.933	14.570	12.387	17.075	14.762	12.566

B.3 Comparação entre a d.e.s. e a r.l.s.

Tabela 8.14 - Diferença entre as vazões inferidas pela d.e.s. e a r.l.s. pelo método do HMMP, utilizando os parâmetros ajustados para a Série 1 da UHE Três Marias.

T	TB1	TB2	TB3
1	2%	2%	1%
10	1%	1%	1%
20	1%	1%	1%
50	1%	1%	1%
100	1%	1%	1%
200	1%	1%	1%
500	1%	1%	1%
1.000	1%	1%	1%
2.000	1%	1%	1%
5.000	1%	1%	1%
10.000	1%	1%	1%

B.4 Comparação entre os TBs

Tabela 8.15 - Diferença entre as vazões inferidas para os TB1, TB2 e TB3 pelo método do HMMP, utilizando os parâmetros ajustados para a Série 1 da UHE Três Marias.

Tempos de base	TB1 (dias)	TB2 (dias)	TB3 (dias)
	130	170	210
Variação entres os TBs	TB1-TB2	TB2-TB3	TB1-TB3
	31%	24%	62%
d.e.s.	16%	18%	37%
r.l.s.	16%	17%	36%

C) Estação Fluviométrica Paso de Los Libres

C.1 Vazões Médias Máximas Diárias e para os TBs

Tabela 8.16 - Séries de vazões (m³/s) máximas médias diárias anuais e com duração TB1, TB2, TB3, TB4, TB5 e TB6, para estação Paso de Los Libres.

T	Anual		TB1*		TB2*		TB3*		TB4*		TB5*		TB6*	
(anos)	Ano	Q	Ano	Q _{TB1}	Ano	Q _{TB2}	Ano	Q _{TB3}	Ano	Q _{TB4}	Ano	Q _{TB5}	Ano	Q _{TB6}
103,00	1983	38.256	1983	17.217	1983	17.791	1983	18.189	1983	15.062	1998	14.416	1998	14.178
51,50	1997	33.921	1997	17.177	1998	15.607	1998	15.568	1998	14.253	1983	13.790	1983	12.308
34,33	1990	33.267	1929	15.484	1997	15.595	1997	14.447	1972	13.024	1928	12.144	1928	10.828
25,75	1941	33.239	1941	15.246	2002	14.649	2002	14.348	1928	12.909	1972	11.923	1973	10.743
20,60	1929	30.604	1998	15.185	1929	14.440	1972	14.311	2003	11.996	1973	11.161	2003	10.364
17,17	1923	30.369	1928	14.857	1941	14.391	2003	13.855	1941	11.980	2003	11.013	1984	10.347
14,71	1992	30.153	2002	14.518	1928	14.247	1941	13.382	2002	11.906	2002	11.009	1972	10.325
12,88	1972	29.137	1972	14.285	2003	14.030	1928	13.350	1954	11.587	1941	10.962	1941	10.305
11,44	1963	26.563	1965	13.271	1972	13.756	1929	13.222	1997	10.826	1954	10.200	2002	10.254
10,30	1936	26.563	2003	13.233	1965	12.568	1992	11.826	1982	10.609	1929	9.738	1929	9.858
9,36	1935	26.092	1982	13.017	1990	12.416	1990	11.799	1973	10.466	1914	9.665	1990	9.358
8,58	1928	25.850	1990	12.938	1963	12.310	1965	11.709	1914	10.212	1997	9.645	1942	9.319
7,92	1979	24.953	1963	12.878	1919	12.256	1932	11.571	1984	10.198	1984	9.615	1954	8.893
7,36	1927	24.785	1954	12.677	1982	12.181	1919	11.560	1987	9.820	1982	9.588	1966	8.677
6,87	1982	24.332	1932	12.618	1992	12.031	1982	11.545	1912	9.740	1915	9.396	1955	8.657
6,44	1965	24.193	1992	12.525	1954	11.808	1963	11.500	1915	9.526	1990	9.310	1915	8.600
6,06	2002	24.185	1916	12.400	1916	11.706	1915	11.486	1992	9.501	1955	9.301	1974	8.589
5,72	1998	23.917	1919	12.287	1915	11.699	1964	11.363	1929	9.491	1987	9.067	1914	8.572
5,42	1911	23.686	1915	12.052	1914	11.657	1914	11.280	1936	9.490	1966	8.894	1991	8.494
5,15	1919	23.148	1961	12.037	1932	11.571	1916	11.110	2010	9.367	2010	8.703	1985	8.430
4,90	1986	22.970	1979	12.009	1979	11.566	1984	11.071	1990	9.249	1992	8.692	1982	8.379
4,68	1987	22.349	1914	11.916	1964	11.159	2009	11.038	1966	9.181	1912	8.634	1997	8.317
4,48	1954	22.076	1953	11.873	1923	11.083	1954	10.968	2009	9.003	1936	8.467	1987	8.277
4,29	2005	21.659	1923	11.716	1961	11.055	1973	10.943	1932	8.941	1922	8.419	1932	8.214
4,12	2009	21.647	1911	11.595	1984	11.038	1979	10.930	1916	8.927	1974	8.334	1912	8.198
3,96	1984	21.587	1967	11.505	1973	10.974	1980	10.878	1930	8.866	1932	8.276	1992	8.051
3,81	1953	21.302	1964	11.343	1953	10.966	1987	10.766	1919	8.853	1919	8.205	2010	7.955
3,68	1916	20.848	1973	11.343	2009	10.865	1923	10.636	1922	8.848	1967	8.079	1911	7.730
3,55	1961	20.562	1984	11.277	1935	10.823	1961	10.515	1967	8.834	1942	8.063	1922	7.570
3,43	1989	19.561	2010	11.143	1936	10.788	1936	10.339	1935	8.766	1985	7.926	1919	7.554
3,32	1932	19.547	1935	11.080	1980	10.783	1935	10.317	1965	8.740	1923	7.907	1961	7.528
3,22	2008	19.108	1936	11.060	2010	10.740	1911	10.234	1923	8.667	1911	7.893	1986	7.430
3,12	1942	18.747	2009	11.060	1911	10.577	2010	10.094	1911	8.638	1965	7.862	1936	7.419
3,03	1994	18.714	1987	10.863	1987	10.513	1953	10.069	1980	8.514	1930	7.855	1980	7.303
2,94	1912	18.532	1922	10.739	1922	10.207	1930	10.051	1979	8.481	1961	7.747	1923	7.295
2,86	1939	18.398	1986	10.662	1986	10.158	1986	9.829	1963	8.333	1991	7.716	1937	7.238
2,78	2003	18.356	1966	9.666	1967	10.120	1922	9.644	1964	8.330	1935	7.701	1979	7.232
2,71	1973	18.305	1994	9.643	1966	9.632	1966	9.440	1961	8.264	2009	7.677	1965	7.152
2,64	1967	18.189	1955	9.509	1955	9.418	1955	9.316	1940	8.144	1980	7.636	1999	7.131
2,58	1921	17.670	1940	9.453	1994	9.136	1912	9.239	1942	8.138	1940	7.554	1930	7.112
2,51	1914	17.082	1942	9.214	1940	9.018	1940	9.057	1986	8.001	1979	7.530	1993	7.051
2,45	1951	17.053	1980	9.212	1930	8.911	1967	9.037	1974	7.896	1986	7.426	1924	7.034
2,40	1915	16.785	2000	9.048	1975	8.700	1962	8.888	1955	7.849	1916	7.346	1962	6.971
2,34	1930	16.729	1975	8.980	1991	8.660	1991	8.742	1985	7.540	1994	7.279	1940	6.872
2,29	1938	16.698	1957	8.887	1942	8.621	1994	8.697	1991	7.403	1962	7.202	1967	6.808
2,24	1925	16.513	2005	8.822	1938	8.511	1959	8.404	1994	7.359	1964	7.010	1988	6.806
2,19	1926	16.513	1938	8.809	1912	8.455	1975	8.307	1962	7.329	1963	6.989	1994	6.799
2,15	1950	16.293	1912	8.797	2011	8.444	1942	8.233	2005	7.202	1959	6.898	1959	6.629
2,10	1922	15.643	1985	8.605	1959	8.438	2011	8.109	1953	7.045	1924	6.886	1939	6.600

T	Anual		TB1*		TB2*		TB3*		TB4*		TB5*		TB6*	
(anos)	Ano	Q	Ano	Q _{TB1}	Ano	Q _{TB2}	Ano	Q _{TB3}	Ano	Q _{TB4}	Ano	Q _{TB5}	Ano	Q _{TB6}
2,06	2000	15.318	1960	8.559	1957	8.410	1938	8.094	2001	6.963	2005	6.816	2009	6.597
2,02	1993	15.307	2011	8.526	2000	8.391	1957	8.005	1999	6.925	1999	6.714	1995	6.558
1,98	1975	15.179	1991	8.496	1960	8.296	1960	7.917	2000	6.920	1948	6.567	1971	6.546
1,94	1959	15.158	1977	8.338	2005	8.194	1939	7.810	1971	6.837	1939	6.561	1916	6.540
1,91	1978	15.091	1959	8.320	1985	8.147	1977	7.774	1959	6.797	2001	6.516	1933	6.503
1,87	1966	14.937	1989	8.281	1962	7.987	2000	7.766	1976	6.775	1971	6.514	1935	6.493
1,84	1947	14.929	1971	8.205	1971	7.903	2005	7.735	2011	6.574	2000	6.433	2001	6.492
1,81	1918	14.928	2004	7.908	1977	7.785	1985	7.636	1975	6.561	1995	6.334	1917	6.324
1,78	1971	14.821	1993	7.841	1989	7.689	1926	7.595	1939	6.560	1937	6.311	1948	6.259
1,75	2011	14.720	1925	7.640	1939	7.646	1971	7.469	1957	6.525	1975	6.208	2005	6.202
1,72	1969	14.700	1939	7.623	1993	7.470	1989	7.244	1948	6.426	1976	6.195	1964	6.117
1,69	2001	14.677	2007	7.600	2004	7.402	1931	7.198	1960	6.400	2011	6.181	1963	6.061
1,66	1980	14.511	1962	7.559	1926	7.395	1993	7.166	1977	6.377	1917	6.157	1975	5.957
1,63	1960	14.323	2008	7.535	1931	7.339	1948	7.121	1926	6.328	1953	6.135	2006	5.950
1,61	1955	14.120	1931	7.530	1925	7.103	2004	6.883	1910	6.238	1938	6.113	1976	5.906
1,58	1957	14.112	1948	7.505	1948	7.101	1970	6.774	1958	6.212	1988	6.073	2000	5.901
1,56	1937	14.082	1969	7.501	1970	7.067	2008	6.754	1938	6.143	1993	6.066	2011	5.826
1,54	1940	14.027	1927	7.440	2007	7.051	1969	6.712	1931	5.975	1910	6.038	1909	5.798
1,51	2010	13.988	1970	7.415	1969	7.051	2001	6.672	1981	5.970	1978	5.846	1910	5.755
1,49	1985	13.893	1930	7.376	2008	6.971	1925	6.597	1970	5.908	1977	5.844	1938	5.547
1,47	1910	13.820	1951	7.225	1927	6.880	2007	6.576	1993	5.873	1909	5.839	2007	5.474
1,45	1956	13.778	1947	7.222	1910	6.828	1958	6.571	1978	5.838	2007	5.733	1943	5.426
1,43	1999	13.692	1910	7.209	1958	6.816	1910	6.555	1968	5.813	1933	5.693	1953	5.361
1,41	1977	13.325	1921	7.098	1952	6.717	1927	6.378	1952	5.724	1957	5.676	1960	5.359
1,39	2004	13.297	1981	7.053	1981	6.706	1981	6.365	1989	5.705	2006	5.615	1977	5.353
1,37	1995	13.215	1952	7.007	1947	6.683	1937	6.336	1909	5.702	2012	5.613	1949	5.306
1,36	1970	13.148	1926	6.975	1921	6.674	1921	6.244	2007	5.622	1958	5.604	1981	5.297
1,34	1948	12.988	1918	6.952	1951	6.642	1947	6.217	2008	5.602	1981	5.526	2008	5.245
1,32	2007	12.969	1958	6.945	2001	6.612	1952	6.020	1947	5.577	1926	5.471	1978	5.220
1,30	1913	12.864	2001	6.837	1937	6.444	1995	5.960	1937	5.519	1960	5.396	2012	5.211
1,29	1952	12.852	1937	6.552	1918	6.352	1951	5.956	1988	5.470	1970	5.367	1969	5.125
1,27	1976	12.672	1943	6.317	1943	6.089	1976	5.912	1950	5.428	1918	5.271	1958	5.111
1,26	1933	12.370	1995	6.175	1996	6.032	1918	5.889	2012	5.335	1968	5.263	1913	5.090
1,24	1958	12.043	1999	6.114	1995	5.996	1996	5.871	1995	5.328	1927	5.170	1957	5.028
1,23	1991	11.749	1996	6.105	1950	5.803	1909	5.854	1925	5.302	1925	5.147	1970	5.000
1,21	1946	11.725	1950	5.989	1946	5.721	1943	5.717	1918	5.236	1969	5.146	1927	4.886
1,20	1931	11.632	1946	5.965	1999	5.672	1950	5.608	1996	5.154	1989	5.118	1918	4.870
1,18	1996	11.568	1933	5.957	1909	5.592	1946	5.353	1933	5.115	2008	5.094	1926	4.865
1,17	1943	11.352	1913	5.778	2012	5.580	2012	5.327	1921	5.079	1949	5.075	1925	4.798
1,16	2012	11.102	1976	5.660	1933	5.568	1999	5.246	1924	5.067	1950	5.056	1989	4.792
1,14	1949	10.803	1909	5.253	1976	5.411	2006	5.226	1969	5.047	1952	5.055	1956	4.780
1,13	1988	10.750	1956	5.199	1913	5.348	1933	5.190	1927	4.971	1931	5.028	1968	4.668
1,12	1934	10.272	1988	5.178	2006	5.091	1913	5.036	1943	4.878	1947	5.014	1951	4.544
1,11	1924	10.183	2012	5.153	1974	4.975	1974	4.796	1949	4.855	1921	4.851	1950	4.519
1,10	1974	10.050	1968	5.085	1924	4.935	1934	4.783	2004	4.844	1951	4.660	2004	4.501
1,08	1962	9.866	1924	5.055	1956	4.932	1924	4.759	2006	4.723	1996	4.640	1931	4.500
1,07	1964	9.753	1974	5.043	1934	4.883	1956	4.740	1917	4.591	1946	4.582	1996	4.481
1,06	1968	9.497	1934	5.033	1988	4.843	1949	4.500	1946	4.537	2004	4.550	1921	4.475
1,05	1909	9.062	1949	5.017	1949	4.652	1988	4.488	1951	4.453	1913	4.495	1947	4.381
1,04	2006	8.154	1978	4.765	1968	4.599	1978	4.439	1956	4.414	1956	4.364	1946	4.292
1,03	1945	7.844	2006	4.106	1978	4.590	1968	4.293	1913	4.345	1934	4.278	1952	4.290
1,02	1944	7.618	1945	3.029	1945	3.101	1945	3.049	1934	4.309	1943	4.243	1934	4.101
1,01	1981	6.593	1944	2.552	1944	2.336	1917	2.520	1944	2.937	1944	3.487	1944	3.686
1,00	1917	3.039	1917	1.381	1917	1.765	1944	2.157	1945	2.623	1945	2.183	1945	1.867

*TB: tempo de base com valores TB1= 75 dias, TB2= 85 dias, TB3= 95 dias, TB4 = 160 dias, TB5= 200 dias e TB6= 240 dias.

C.2 Vazões estimadas

Figura 8.16 - Vazões estimadas pelo método do HMMP utilizando d.e.s. para: (a) *TB1*; (b) *TB2* e (c) *TB3*, para Paso de Los Libres.

Figura 8.17 - Vazões estimadas pelo método do HMMP utilizando r.l.s. para: (a) TB1; (b) TB2 e (c) TB3, para Paso de Los Libres.

Tabela 8.17 - Vazões de pico diário (Q_P) estimadas pelo método do HMMP pela Série 1_SSRH, para Paso de Los Libres.

T (anos)	d.e.s.			r.l.s.		
	$Q_P(TB1)$	$Q_P(TB2)$	$Q_P(TB3)$	$Q_P(TB1)$	$Q_P(TB2)$	$Q_P(TB3)$
1	5.649	5.474	5.292	5.796	5.594	5.401
10	34.453	33.234	32.328	34.231	33.185	32.354
20	43.124	41.591	40.466	42.790	41.491	40.467
50	54.586	52.638	51.225	54.105	52.470	51.193
100	63.256	60.994	59.364	62.665	60.776	59.307
200	71.927	69.351	67.502	71.225	69.082	67.420
500	83.389	80.398	78.261	82.540	80.062	78.146
1000	92.060	88.755	86.400	91.100	88.367	86.260
2000	100.731	97.111	94.538	99.659	96.673	94.374
5000	112.193	108.158	105.297	110.975	107.653	105.099
10000	120.864	116.515	113.435	119.534	115.959	113.213

C.3 Comparação entre a d.e.s. e a r.l.s.

Tabela 8.18 - Diferença entre as vazões inferidas pela d.e.s. e a r.l.s. pelo método do HMMP, utilizando os parâmetros ajustados para a Série 1_SSRH para Paso de Los Libres.

T	TB1	TB2	TB3
1	3%	2%	2%
10	-1%	0%	0%
20	-1%	0%	0%
50	-1%	0%	0%
100	-1%	0%	0%
200	-1%	0%	0%
500	-1%	0%	0%
1.000	-1%	0%	0%
2.000	-1%	0%	0%
5.000	-1%	0%	0%
10.000	-1%	0%	0%

9 ANEXOS

ANEXO I: DADOS DOS PRINCIPAIS VERTEDOUROS BRASILEIROS E CRITÉRIOS DE PROJETO

Tabela 9.1 - Aproveitamentos e reservatórios de vertedouros brasileiros (CBDB, 2010).

Nome	Rio	Ano de Conclusão	Proprietário	Projetista	Área de drenagem (km ²)	Reservatório	
						Área (km ²)	Volume Total (10 ⁶ m ³)
Água Vermelha	Grande	1978	CESP	PROMON/THEMAG	139.900	647	11.025
Aimorés	Doce	-	CEMIG/VALE	SPEC	62.167	36,60	185
Apiacás	Apiacás	-	-	-	6.650	-	-
APM - Manso	Manso/Cuiabá	-	-	-	9.365	-	-
Balbina	Uatumã	1989	ELETRONORTE	ENGERIO/MONASA	18.862	2.360	17.533
Balsas Mineiro	Balsas/Tocantins	-	-	-	8.000	-	-
Barra Bonita	Tietê/Paraná	1963	CESP	TECHINT/TENCO	27.000	334,31	3.160
Boa Esperança	Parnaíba	1970	CHESF	GEOTECNICA	85.000	350	5.100
Cajuru	Rio Pará	-	-	-	2.230	-	-
Camargos	Grande/Paraná	1960	CEMIG	INTERNATIONAL ENGINEERING CO.	6.280	77,40	792
Cana Brava	Tocantins	2002	TRACTEBEL	INTERTECHNE	57.780	139	2.300
Capim Branco I	Araguari/Paranaíba	-	-	-	18.300	-	-
Capim Branco II	Araguari/Paranaíba	-	-	-	19.100	-	-
Capivara	Parapanema	1977	CESP	SERVIX	85.000	550	10.500
Corumbá I	Corumbá/Paranaíba	1997	FURNAS	PROMON	27.800	65	1500
Dona Francisca	Jacuí	2001	DFESA	ENGEVIX	13.975	19,20	335
Emborcação	Paranaíba	1982	CEMIG	LEME	29.000	492	17.588
Euclides da Cunha	Pardo	-	-	-	4.366	-	-
Foz do Areia	Iguaçu/Paraná	1980	COPEL	MILDER KAISER	29.900	139	5.779
Funil (BA)	De Contas	-	-	-	45.400	-	-
Funil (MG)	Grande	-	CEMIG/VALE	SPEC	15.153	33,46	267
Funil (RJ)	Paraíba do Sul	1969	FURNAS	COBA/COBA DO BRASIL	13.410	39,30	888
Furnas	Grande	1963	FURNAS	IESA	50.464	1.440	22.950
Igarapava	Grande	1998	CEMIG	IESA	64.700	36,51	235
Ilha Solteira	Paraná	1973	CESP	THEMAG	375.460	1.195	22.273
Irapé	Jequitinhonha	Em Construção	CEMIG	LEME/INTERTECHNE	16.200	137,20	5.964
Itá	Uruguai	2000	TRACTEBEL/ITASA	ENGEVIX	44.500	141	5.100
Itaipu	Paraná	1982	ITAIPU	IECO-ELC PROMON/THEMAG ENGEVIX/HIDROSERVICE GCAP	820.000	1.350	29.000
Itapebi	Jequitinhonha	2003	IGE	ENGEVIX/INTERTECHNE	68.100	61,60	1.635
Itaúba	Jacuí	1979	CEEE	ENGEVIX	10.600	8,60	600
Itumbiara	Paranaíba	1980	FURNAS	IESA	95.000	778	17.027

Nome	Rio	Ano de Conclusão	Proprietário	Projetista	Área de drenagem (km²)	Reservatório	
						Área (km²)	Volume Total (10⁶xm³)
Jaguara	Grande	1971	CEMIG	ELETROPROJETOS ELETROWATT/ GEOTECNICA	62.700	36	420
Jupiaá	Paraná	1968	CESP	THEMAG	470.000	330	3.521
Machadinho	Pelotas/ Uruguai	2002	TRACTEBEL/ MAE SA	VNEC	32.020	79	3.339
Mascarenhas de Moraes	Grande	-	-	-	59.600	-	-
Miranda	Araguai/ Paranaíba	1998	CEMIG	IESA	17.00	70	1.120
Moxotó	São Francisco	1974	CHESF	SOFRELEC	600.000	93	1.200
Nova Avanhadava	Paraná	1982	CESP	IESA	62.300	210	2.830
Nova Ponte	Araguari/ Paranaíba	1994	CEMIG	LEME	15.300	443	12.792
Paraibuna/ Paraitinga	Paraibuna	-	-	-	4.150	-	-
Passo Real	Jacuí	-	-	-	7.900	-	-
Paulo Afonso I, II e III	São Francisco	-	-	-	603.683	-	-
Paulo Afonso IV	São Francisco	1979	CHESF	SOFRELEC	600.000	17	50
Pedra	De Contas	-	-	-	42.890	-	-
Pedra do Cavalo	Paraguaçu	1985	EMBASA	CNEC	53.650	186	5.330
Porto de Estrela	Sto. Antônio/ Doce	-	CEMIG/VALE/ COTEMINAS	SPEC	9.326	4,20	89
Porto Primavera	Paraná	1986	CESP	THEMAG	572.480	1.460	20.000
Promissão	Tietê	-	-	-	57.500	-	-
Queimado	Rio Preto/ São Francisco	-	CEMIG/CEB	SPEC	3.773	41	492
Saldo Caxias	Iguaçu/ Paraná	1999	COPEL	INTERTECHNE-LEME/ ENGEVIX-ESTEIO	57.000	141,43	3.573
Saldo Grande	Doce	1958	CESP	SERVIX	8.860	16	48
Salto Osório	Iguaçu/ Paraná	1975	TRACTEBEL	KAISER/SERETE	45.200	61	1.124
Salto Santiago	Iguaçu/ Paraná	1980	TRACTEBEL	MILDER KAISER	43.900	208	6.750
São Simão	Paranaíba	1978	CEMIG	IESA	171.000	703,21	12.540
Segredo	Iguaçu/ Paraná	1992	COPEL	MDK/CENCO	34.100	82	3.000
Serra da Mesa	Tocantins	1998	FURNAS	IESA	50.975	1784	54.400
Três Irmãos	Tietê	1991	CESP	PROMON	69.900	785	13.800
Três Marias	São Francisco	1962	CEMIG	SERVIX-IECO	50.600	1.155,02	19.530
Tucuruí	Tocantins	1984	ELETRONORTE	THEMAG/ENGEVIX	758.000	2.430	45500
Volta Grande	Grande	1974	CEMIG	TAMS-ENGEVIX	68.800	195	2.300
Xingó	São Francisco	1994	CHESF	PROMON	608.700	60	3.800

Tabela 9.2 - Cheias de projeto para os principais vertedouros brasileiros (CBDB, 2010).

Nome	Critério de Cheia de Projeto	Capacidade de Projeto (m³/s)	Afluência			
			Cheia Decamilenar (CD)		CMP	
			m³/s	m³/s.km²	m³/s	m³/s.km²
Água Vermelha	CD	20.000	20.060	0,1434	-	-
Aimorés	CMP	15.000	-	-	16.813	0,2700
Apiacás	-	-	2.830	0,4256	-	-
APM - Manso	-	-	-	-	6.271	0,6696
Balbina	CD	5.840	15.710	0,8329	-	-
Balsas Mineiro	-	-	3.110	0,3888	-	-
Barra Bonita	CD	4.200	4.200	0,1556	-	-
Boa Esperança	CD	8.633	12.000	0,1412	-	-
Cajuru	-	-	-	-	1.210	0,5426
Camargos	CD	2.030	2.100	0,3340	-	-
Cana Brava	CMP	17.800	-	-	17.802	0,3081
Capim Branco I	-	-	-	-	8.940	0,4890
Capim Branco II	-	-	-	-	9.218	0,4830
Capivara	CD	17.100	24.500	0,2882	-	-
Corumbá I	CMP	6.800	-	-	8.200	0,2950
Dona Francisca	CD	10.620	10.620	0,7599	-	-
Emborcação	CMP	7.600	-	-	9.280	0,3200
Euclides da Cunha	-	-	3.150	0,7215	3.470	0,7948
Foz do Areia	CD	10.250	11.000	0,3679	-	-
Funil (BA)	-	-	10.000	0,2203	-	-
Funil (MG)	CMP	7.356	-	-	7.750	0,5110
Funil (RJ)	CMP	1.700	-	-	4.900	0,3654
Furnas	CMP	12.297	-	-	18.802	0,3726
Igarapava	CD	14.300	14.300	0,2210	-	-
Ilha Solteira	CMP	34.300	37.900	0,1009	55.230	0,1471
Irapé	CMP	7.950	-	-	7.950	0,4910
Itá	CMP	29.964	51.800	1,1640	52.800	1,1865
Itaipu	CMP	62.200	-	-	72.020	0,0878
Itapebi	CD	20.915	20.915	0,3071	-	-
Itaúba	CD	8.130	8.130	0,7670	-	-
Itumbiara	CMP	16.270	-	-	22.100	0,2330
Jaguara	CD	13.600	14.100	0,2250	-	-
Jupiaá	CMP	44.000	50.130	0,1067	60.790	0,1293
Machadinho	CMP	37.874	37.350	1,1665	39.750	1,2414
Mascarenhas de Moraes	-	-	-	-	16.107	0,2703
Miranda	CMP	8.630	-	-	8.800	0,5176
Moxotó	CD	28.000	35.000	0,0583	-	-
Nova Avanhadava	CD	7.948	7.948	0,1276	-	-
Nova Ponte	CMP	6.140	-	-	8.630	0,5641
Paraibuna/ Paraitinga	-	-	-	-	5.400	1.3012
Passo Real	-	-	6.250	0,7911	-	-
Paulo Afonso I, II e III	-	-	28.000	0,0464	-	-
Paulo Afonso IV	CD	10.000	35.000	0,0583	-	-
Pedra	-	-	10.000	0,2331	-	-
Pedra do Cavalo	CMP	12.000	12.430	0,2319	15.160	0,2826
Porto de Estrela	CD	6.260	6.260	0,6712	-	-

Nome	Critério de Cheia de Projeto	Capacidade de Projeto (m³/s)	Afluência			
			Cheia Decamilenar (CD)		CMP	
			m³/s	m³/s.km²	m³/s	m³/s.km²
Porto Primavera	CMP	52.800	51.115	0,0893	62.040	0,1084
Promissão	-	-	8.340	0,1450	-	-
Queimado	CMP	1.800	-	-	2.100	0,5566
Saldo Caxias	CD	49.600	52.400	0,9193	49.600	1,3012
Saldo Grande	CD	8.100	3.400	0,3840	-	-
Salto Osório	CD	15.000	28.000	0,6195	-	-
Salto Santiago	CD	24.600	26.000	0,5923	24.600	0,5604
São Simão	CMP	24.100	-	-	27.200	0,1591
Segredo	CD	16.000	16.000	0,4690	-	-
Serra da Mesa	CMP	14.750	-	-	22.780	0,4469
Três Irmãos	CD	9.000	9.500	0,1359	-	-
Três Marias	CMP	8.700	-	-	9.980	0,1972
Tucuruí	CMP	100.000	105.300	0,1389	114.300	0,1508
Volta Grande	CD	16.580	16.580	0,2410	-	-
Xingó	CD	16.500	33.000	0,0542		

ANEXO II : TESTES DE HIPÓTESE NÃO PARAMÉTRICOS

A) Testes de Aleatoriedade

A.1 Turning Points Test ou Kendall's test (“Teste de pontos de inflexão”)

Kendall's test (KENDALL; STUART²³, 1976 *apud* LYE; LIN, 1994; SRIKANTHAN; MCMAHON; IRISH, 1983) é baseado em séries binárias. O teste compara o número de picos e depressões com a quantidade que seria esperada para uma série, “um número excessivamente pequeno, ou excessivamente grande, de inflexões é um indicador de não aleatoriedade” (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Aos n valores da série temporal é atribuído o valor 1 se $x_{i-1} < x_i > x_{i+1}$ ou $x_{i-1} > x_i < x_{i+1}$, caso contrário, é atribuído o valor 0. O número de vezes que o número 1 (um) aparece (m_1) é aproximadamente normalmente distribuído com:

$$\mu = \text{média} = 2(n - 2) / 3 \quad \text{Equação 9.1}$$

$$\sigma = \text{variância} = (16n - 29) / 90 \quad \text{Equação 9.2}$$

A estatística T é, portanto:

$$T = (m_1 - \mu) / \sigma^{0,5} \quad \text{Equação 9.3}$$

Por trata-se de um teste bilateral, a um nível de significância α , a decisão deve ser de rejeitar a hipótese nula se $|T| > Z_{1-\alpha/2}$. Os valores da estatística Z para vários níveis de significância podem ser obtidos a partir de tabelas de probabilidade Normal.

A.2 Median Crossing Test ou Fisz test (“Teste de cruzamento da mediana”)

Fisz test (FISK²⁴, 1963 *apud* LYE; LIN, 1994; SRIKANTHAN; MCMAHON; IRISH, 1983) substitui os n valores da série de tempo por 0 se $x_i < x_{\text{mediana}}$ e por 1 se $x_i > x_{\text{mediana}}$. Se os dados são provenientes de um processo aleatório, então m_2 (o número de vezes que 0 é seguido por 1 ou 1 seguido por 0) é aproximadamente uma distribuição normal com:

$$\mu = (n - 1) / 2 \quad \text{Equação 9.4}$$

$$\sigma = ((n - 1)) / 4 \quad \text{Equação 9.5}$$

A estatística T é, portanto:

²³KENDALL, M; STUART, A. The advanced theory of statistics. London: Charles Griffin, 1976. Vol. 3.

²⁴Fisz, M. Probability Theory and Mathematical Statistics. New York: Wiley. 1963.

$$T = (m_2 - \mu) / \sigma^{0,5} \quad \text{Equação 9.6}$$

Por trata-se de um teste bilateral, a um nível de significância α , a decisão deve ser de rejeitar a hipótese nula se $|T| > Z_{1-\alpha/2}$. Os valores da estatística Z para vários níveis de significância podem ser obtidos a partir de tabelas de probabilidade Normal.

A.3 Rank Difference Test ou Meacham test (“Teste de diferenças de ordem”)

Meacham test (MEACHAM²⁵, 1968 *apud* LYE; LIN, 1994; SRIKANTHAN; MCMAHON; IRISH, 1983) organiza os n valores da série de tempo em ordem crescente e classifica-os de 1 até n , sendo denotado por posição i (R_i). A estatística U é calculada por:

$$U = \sum_{i=2}^n |R_i - R_{i-1}| \quad \text{Equação 9.7}$$

Para n grande, U é normalmente distribuída com:

$$\mu = (n + 1)(n - 1) / 3 \quad \text{Equação 9.8}$$

$$\sigma = (n - 2)(n + 1)(4n - 7) / 90 \quad \text{Equação 9.9}$$

A estatística T é, portanto:

$$T = (U - \mu) / \sigma^{0,5} \quad \text{Equação 9.10}$$

Por trata-se de um teste bilateral, a um nível de significância α , a decisão deve ser de rejeitar a hipótese nula se $|T| > Z_{1-\alpha/2}$. Os valores da estatística Z para vários níveis de significância podem ser obtidos a partir de tabelas de probabilidade Normal.

B) Teste de independência

B.1 Teste de Wald-Wolfowitz

O teste de Wald-Wolfowitz (Wald; Wolfowitz, 1943 *apud* NAGHETTINI; PINTO, 2007) é usado para testar a independência da série de dados. Dada uma amostra $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, de tamanho n , e as diferenças $\{X'_1, X'_2, \dots, X'_n\}$, entre as observações X_i e a média amostral $\bar{X}$, a estatística do teste é dada por:

$$R = \sum_{i=1}^{n-1} X'_i X'_{i+1} + X'_1 X'_n \quad \text{Equação 9.11}$$

²⁵Meacham, I. Correlation in sequential data - three simple indicators. Cir. Eng. Trans. Inst. Eng. Aust., CE10(2): 225--228. 1968.

Sob a hipótese de que as observações são independentes, pode-se demonstrar que a estatística R segue uma distribuição normal de média e variância, respectivamente, igual a:

$$\mu = -\frac{S_2}{n-1} \quad \text{Equação 9.12}$$

$$\sigma = \frac{s_2^2}{n-1} + \frac{s_2^2 - 2s_4}{(n-1)(n-2)} - \frac{s_2^2}{(n-1)^2} \quad \text{Equação 9.13}$$

onde r denota a ordem dos momentos amostrais em relação à origem, $s_r = nm'_r$ e $m'_r = \frac{\sum_{i=1}^n (x'_i)^r}{n}$. Portanto, se a hipótese nula é H_0 : os elementos da amostra são independentes, a estatística do teste pode ser formulada como:

$$T = \frac{R - \mu}{\sqrt{\sigma}} \quad \text{Equação 9.14}$$

a qual segue uma distribuição Normal padrão. Calcula-se o valor da probabilidade (p) associada a T . As probabilidade associadas a estatística Z para vários níveis de significância podem ser obtidos a partir de tabelas de probabilidade Normal. Se o valor de p não for maior que o nível de significância adotado a hipótese nula deve ser rejeitada. O PASW indica o valor exato de iterações ou o número mínimo e máximo de iterações, calculando para cada uma a probabilidade associada, sendo indicadas neste estudo de p_1 e p_2 , respectivamente. Caso ocorram diferentes decisões sobre H_0 esse método é considerado inaplicável (CÂMARA; SILVA, 2001).

C) Teste de homogeneidade

C.1 Teste de Mann-Whitney

O teste avalia se duas amostras pertencem a uma mesma população através da análise de que as medições de um das amostras é estatisticamente maior do que a outra (MANN; WHITNEY, 1947). A série é separada em duas sub-amostras e ordenadas, “a ideia intuitiva do teste é se as duas sub-amostras não forem homogêneas, os elementos da primeira apresentarão ordens de classificação consistentemente mais baixas (ou mais altas), em relação às ordens de classificação correspondentes à segunda sub amostra” (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Dada uma amostra $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ de tamanho n , separada em uma amostra $\{X_1, X_2, \dots, X_{n_1}\}$ com n_1 elementos, e $\{X_{n_1+1}, X_{n_1+2}, \dots, X_n\}$, com n_2 elementos, de modo que $n_1 + n_2 = n$, e que n_1 e n_2 sejam aproximadamente iguais, com $n_1 \leq n_2$. Em seguida, classifique em ordem crescente a amostra completa de tamanho n , indicando a ordem de

classificação m de cada observação e se ela provem da primeira ou da segunda sub-amostra. A estatística do teste V de Mann-Whitney é dada por:

$$V \text{ é o menor valor entre } \begin{cases} V_1 = n_1 n_2 + \frac{n_1(n_1+1)}{2} - R_1 \\ V_2 = n_1 n_2 - V_1 \end{cases} \quad \begin{matrix} \text{Equação 9.15} \\ \text{Equação 9.16} \end{matrix}$$

onde R_1 denota a soma das ordens de classificação dos elementos da primeira sub-amostra. Se $n_1, n_2 > 20$, e sob a hipótese de que se trata de uma amostra homogênea, demonstra-se que V segue uma distribuição normal de média e variância, respectivamente, dadas por:

$$\mu = \frac{n_1 n_2}{2} \quad \text{Equação 9.17}$$

$$\sigma = \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12} \quad \text{Equação 9.18}$$

Portanto se a hipótese nula é H_0 : a amostra é homogênea, a estatística do teste não paramétrico de Mann-Whitney pode ser formulada como:

$$T = \frac{V - \mu}{\sqrt{\sigma}} \quad \text{Equação 9.19}$$

a qual sugere uma distribuição normal padrão. Por tratar-se de um teste bilateral a um nível de significância α , a decisão deve ser rejeitar a hipótese nula se $|T| > Z_{1-\alpha/2}$. Os valores da estatística T para vários níveis de significância podem ser obtidos a partir de tabelas de probabilidade Normal. Os valores de T menores que $-1,96$ ou valores de T maiores que $1,96$ indicam que a hipótese nula pode ser descartada, considerando-se o nível de significância de $0,05$. O PASW indica o valor da probabilidade associada a T , indicadas por p . Uma outra forma de avaliar o resultado do teste é verificar o valor de p , se não for maior que o nível de significância adotado a hipótese nula deve ser rejeitada

D) Teste de estacionariedade

D.1 Teste de Pettitt

No teste de Pettitt (PETTITT, 1979) como no teste de Mann-Whitney uma amostra $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ de tamanho n é separada em sub-amostras, $\{X_1, X_2, \dots, X_t\}$ e $\{X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_n\}$. A estatística $U_{t,n}$ é feita por meio da contagem do número de vezes que a primeira amostra é maior que a segunda, e pode ser descrita da seguinte forma:

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n \text{sgn}(x_t - x_j) \quad \text{Equação 9.20}$$

onde $\text{sgn}(x) = 1$ para $x > 0$; $\text{sgn}(x) = 0$ para $x = 0$; $\text{sgn}(x) = -1$ para $x < 0$.

O mais significativo ponto de mudança é encontrado onde o valor $|U_{t,n}|$ é máximo: $K_n = \max |U_{t,n}|$ e o nível de significância associado com esse valor é determinado aproximadamente por:

$$p = \exp\left(\frac{-6K_n^2}{T^3 + T^2}\right) \quad \text{Equação 9.21}$$

Se p é menor que o nível de significância especificado a hipótese nula, H_0 : não ocorre uma mudança brusca na série temporal, é rejeitada. Se um ponto de mudança significativa existir, a série de tempo é dividida em duas partes no local do ponto de mudança. A probabilidade de significância aproximada para um ponto de mudança é definido como $P = 1 - p$.

D.2 Coeficiente de Correlação de Spearman ou *Spearman's Rho Test*

O teste não paramétrico de Spearman detecta se a série hidrológica apresenta uma tendência temporal através da correlação entre a série e o índice de tempo (NAGHETTINI; PINTO, 2007). O teste indica que “para valores pequenos do somatório dos quadrados das diferenças entre a posição que cada valor ocupa na série e a posição que este mesmo valor ocupa na série ordenada, a série está quase ordenada, portanto, para aquele nível de significância, os dados apresentam tendência” (MÜLLER; KRÜGER; KAVISKI, 1998).

Dada uma amostra uma série hidrológica X_t , ao longo do tempo t , o teste estatístico tem como base o seguinte coeficiente (SNEYERS²⁶, 1990 *apud* YUE; PILON; CAVADIAS, 2002; NERC²⁷, 1975 *apud* NAGHETTINI; PINTO, 2007):

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{t=1}^n (m_t - T_t)^2}{n} \quad \text{Equação 9.22}$$

onde m_t é o ordem de classificação da sequência X_t , e T_t são os índices de tempo iguais a $1, 2, \dots, n$. Para $n > 10$ e sob a hipótese nula de que não há correlação entre m_t e T_t , demonstra-se que a distribuição de r_s pode ser aproximada por uma normal de média igual e variância, respectivamente, dada por:

$$\mu = 0 \quad \text{Equação 9.23}$$

$$\sigma = \frac{1}{n-1} \quad \text{Equação 9.24}$$

²⁶ Sneyers, R. On the Statistical Analysis of Series of Observations. World Meteorological Organization, Technical Note n° 143, WMO n° 415. 1990

²⁷ NERC.Flood Studies Report, Vol. 1. London: National Environmental Research Council, 1975.

Portanto a hipótese nula é H_0 : a amostra não apresenta tendência temporal, e a estatística do teste não paramétrico de Spearman pode ser formulada como:

$$T = \frac{r_s}{\sqrt{\sigma}} \quad \text{Equação 9.25}$$

a qual segue uma distribuição normal padrão. Por tratar-se de um teste bilateral a um nível de significância α , a decisão deve ser rejeitar a hipótese nula se $|T| > Z_{1-\alpha/2}$.

D.3 Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall é utilizado para verificação da presença de tendência monotônica, mas estudos apresentam críticas quanto à capacidade de identificar autocorrelação ao invés de tendência (HAMED; RAO, 1998; HAMED, 2009). Para uma amostra $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ de tamanho n o teste é feito calculando-se (BRADLEY²⁸, 1968 *apud* ELETROBRÁS, 1987; DETZEL et al., 2011):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} t_i - \sum_{i=1}^{n-1} s_i \quad \text{Equação 9.26}$$

onde $i = 1, 2, \dots, n$ e:

t_i : número de $x_j \leq x_i$, com $i < j < n$;

s_i : número de $x_j > x_i$, com $i < j < n$.

Dessa maneira, fixando-se um ano i , verificam-se quantos elementos posteriores ($j, j+1, j+2, \dots$) são maiores ou menores a ele, de acordo com as definições de t_i e s_i . A hipótese nula é H_0 : todos os valores são independentes e foram sorteados aleatoriamente e da mesma população, ou seja, não existe tendência ou estrutura de correlação serial. A estatística do teste é dada por:

$$T = \frac{S - 1}{\left(\frac{n(n-1)(2n+5)}{18}\right)^{0,5}} \quad \text{Equação 9.27}$$

Comparando-se o valor da estatística V com a tabela da distribuição normal, sob determinado nível de significância α , a decisão deve ser rejeitar a hipótese nula se $|T| > Z_\alpha$.

²⁸ BRADLEY, James V. Distribution-Free Statistical Tests. Englewood: Prentice-Hall, 1968. 388 p.

E) Teste de Pontos Atípicos (*Outliers*)

E.1 Teste de Grubbs e Beck

O teste de Grubbs e Beck é apresentado por Grubbs; Beck (1972) e Grubbs (1950, 1969) e é recomendado pelo United States Water Resources Council (USWRC²⁹, 1976 *apud* CÂNDIDO, 2003; FILHO, 2010) e encontra-se entre os mais usuais na hidrologia estatística (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Dada uma amostra $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ de tamanho n , neste teste as quantidades x_S e x_I definem, respectivamente, os limites superior e inferior, acima e abaixo dos quais, os pontos atípicos, eventualmente presentes, são detectados e identificados, essas quantidades são dadas por:

$$x_S = \exp(\bar{x} + k_{n,\alpha} s_X) \quad \text{Equação 9.28}$$

$$x_I = \exp(\bar{x} - k_{n,\alpha} s_X) \quad \text{Equação 9.29}$$

onde $\bar{x}$ e s_X representam, respectivamente, a média aritmética e o desvio-padrão da amostra e $k_{n,\alpha}$ denota o valor crítico da estatística de Grubbs e Beck, para um nível de significância α . Para um nível de significância $\alpha=0,10$, foi proposta a seguinte aproximação para o valor crítico da estatística de Grubbs e Beck (PILON; HARVEY, 1993):

$$k_{n,\alpha=0,10} = -3,62201 + 6,28446n^{1/4} - 2,49835n^{1/2} + 0,491436n^{3/4} - 0,037911n \quad \text{Equação 9.30}$$

De acordo com o teste de Grubbs e Beck, a um nível $\alpha=0,10$ e $k_{n,\alpha=0,10}$, as observações eventualmente superiores a x_S , e/ou inferiores a x_I , estariam se desviando significativamente do conjunto dos dados e deveriam ser consideradas como *outliers*. Este teste tem como pressuposto que o logaritmo ou outra função da série de valores têm distribuição normal, o que nem sempre ocorre.

E.2 Teste da assimetria

A assimetria caracteriza a forma do hidrograma ou do polígono de frequências, e é baseada em valores acumulados de potências superiores a 2 dos desvios dos pontos amostrais em relação à média tendo como sua principal medida o coeficiente de assimetria (NAGHETTINI; PINTO, 2007). O coeficiente de assimetria para uma amostra $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ é dado pelo número adimensional:

²⁹ FILHO, J. A. P. C. Metodologia de curvas envoltórias probabilísticas para a estimação de cheias de projeto em bacias hidrográficas não monitoradas no estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

$$CS = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{DP^3} \quad \text{Equação 9.31}$$

O coeficiente de assimetria (CS) reflete e acentua a contribuição acumulada dos desvios positivos e negativos, em relação à média amostral. As séries hidrológicas referentes a eventos de máximos, em geral, possuem coeficientes de assimetria positivos. A análise é realizada com a retirada do extremo amostral (máximo ou mínimo) e caso a retirada deste valor provoque uma alteração na assimetria maior que um desvio padrão (DP) das estimativas o valor é identificado como possível *outlier* (CHOW³⁰, 1988 *apud* (CÂNDIDO, 2003)). O desvio padrão (s) pode ser aproximado por:

$$DP = \sqrt{\frac{6n(n-1)}{(n-2)(n+1)(n+3)}} \quad \text{Equação 9.32}$$

---

³⁰ CHOW, K. C. A., Towards a knowledge-based expert system for flood frequency analysis, Tese de Doutorado (PhD), Queen's University, Kingston, Ontario, Canadá, 1988.

ANEXO III : COEFICIENTE DE SEGURANÇA DA D.E.S.

Tabela 9.3 - Coeficientes de segurança da d.e.s. (CONTE, 2012).

Tamanho da amostra (n)	Valores y_M [ver Equação 9.33]	Plotagem da média $T^* = e^{(1/\alpha)}$	Coeficiente de segurança $\alpha = 1/y_M$
10	0,793	2,210	1,261
15	0,848	2,336	1,179
20	0,879	2,409	1,137
30	0,913	2,491	1,096
40	0,931	2,537	1,074
50	0,943	2,566	1,061
60	0,951	2,587	1,052
70	0,957	2,603	1,045
80	0,961	2,615	1,040
90	0,965	2,624	1,036
100	0,968	2,632	1,033
200	0,982	2,670	1,018
500	0,992	2,696	1,008
1000	0,996	2,706	1,004
2000	0,998	2,712	1,002
5000	0,999	2,715	1,001
10000	0,999	2,717	1,0006
$n=\infty$	$y_M=1$	$T^*=e=2.718$	$\alpha=1$

A Equação 9.33 apresenta o valor do y_M utilizado para o cálculo do coeficiente de segurança (α):

$$y_M = 1 - (1/n) \cdot \ln \left[(2\pi)^{\frac{1}{2}} \right] - (1/2n) \cdot \ln(n) \quad \text{Equação 9.33}$$

ANEXO IV : SÉRIES DE VAZÕES MÁXIMAS ANUAIS

Tabela 9.4 - Séries de vazões diárias máximas anuais, obtidas a partir dos dados da ONS (2012), para os aproveitamento de Caconde, Funil e Furnas.

Ano Hidrológico	Caconde		Funil		Furnas	
	Início do Ano Hidrológico: Setembro					
	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)
31-32			28-jan-1932	779	28-jan-1932	2.491
32-33			04-jan-1933	1.005	31-dez-1932	1.794
33-34			21-jan-1934	685	19-jan-1934	1.646
34-35			19-fev-1935	1.151	21-fev-1935	3.161
35-36			01-mar-1936	793	02-mar-1936	2.349
36-37			18-jan-1937	1.283	21-jan-1937	3.359
37-38	06-jan-1938	199	10-dez-1937	1.375	21-dez-1937	3.034
38-39	11-fev-1939	279	31-dez-1938	1.468	02-jan-1939	3.719
39-40	05-fev-1940	247	14-fev-1940	1.220	16-fev-1940	3.240
40-41	16-nov-1940	85	03-jan-1941	1.127	26-dez-1940	3.573
41-42	23-fev-1942	145	08-mar-1942	1.002	09-mar-1942	2.411
42-43	22-fev-1943	264	22-jan-1943	1.975	26-jan-1943	3.930
43-44	22-fev-1944	104	10-fev-1944	930	08-mar-1944	2.244
44-45	03-fev-1945	270	04-fev-1945	942	08-fev-1945	2.852
45-46	02-jan-1946	332	07-jan-1946	1.656	07-jan-1946	5.178
46-47	09-mar-1947	357	18-mar-1947	1.939	21-mar-1947	5.525
47-48	17-mar-1948	337	31-dez-1947	1.180	18-mar-1948	2.720
48-49	20-jan-1949	189	18-dez-1948	1.160	30-jan-1949	3.063
49-50	11-fev-1950	364	28-jan-1950	1.103	29-jan-1950	3.172
50-51	21-fev-1951	187	21-nov-1950	1.271	29-mar-1951	2.730
51-52	16-mar-1952	181	14-mar-1952	1.201	16-mar-1952	3.288
52-53	30-mar-1953	159	14-dez-1952	887	09-abr-1953	1.600
53-54	10-fev-1954	451	19-fev-1954	698	21-fev-1954	2.006
54-55	01-abr-1955	117	19-jan-1955	867	20-jan-1955	1.860
55-56	31-dez-1955	272	04-jan-1956	776	05-jan-1956	2.236
56-57	24-mar-1957	213	28-dez-1956	1.114	29-dez-1956	2.758
57-58	30-jan-1958	326	24-jan-1958	771	10-fev-1958	2.032
58-59	10-jan-1959	273	13-jan-1959	831	11-jan-1959	2.314
59-60	01-mar-1960	300	25-jan-1960	1.416	26-jan-1960	3.345
60-61	22-dez-1960	306	17-fev-1961	1.653	18-fev-1961	4.347
61-62	07-fev-1962	330	13-fev-1962	1.252	15-fev-1962	4.274
62-63	01-jan-1963	310	02-jan-1963	1.407	05-jan-1963	3.780
63-64	16-fev-1964	196	27-fev-1964	1.258	29-jan-1964	3.522
64-65	28-fev-1965	243	13-fev-1965	1.604	04-fev-1965	3.481
65-66	10-mar-1966	340	16-jan-1966	2.169	18-jan-1966	4.982
66-67	25-dez-1966	564	29-dez-1966	1.377	30-dez-1966	4.995
67-68	14-jan-1968	146	28-nov-1967	761	30-dez-1967	2.295
68-69	06-mar-1969	85	05-dez-1968	1.262	28-jan-1969	3.060
69-70	23-fev-1970	457	28-jan-1970	690	28-fev-1970	2.701
70-71	10-nov-1970	109	10-nov-1970	772	11-nov-1970	1.842
71-72	29-fev-1972	162	27-dez-1971	1.255	28-dez-1971	3.050
72-73	28-jan-1973	158	06-fev-1973	991	31-dez-1972	2.697
73-74	22-mar-1974	210	25-mar-1974	1.086	26-mar-1974	2.755
74-75	11-fev-1975	128	27-dez-1974	998	28-dez-1974	2.279
75-76	09-fev-1976	229	30-nov-1975	1.108	30-nov-1975	3.390

Ano Hidrológico	Caconde		Funil		Furnas	
	Início do Ano Hidrológico: Setembro					
	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)
76-77	02-fev-1977	213	31-jan-1977	1.225	31-jan-1977	3.136
77-78	03-dez-1977	163	18-jan-1978	1.986	19-jan-1978	3.706
78-79	16-fev-1979	143	20-fev-1979	1.335	24-fev-1979	3.058
79-80	28-dez-1979	257	24-jan-1980	1.267	26-jan-1980	3.718
80-81	16-jan-1981	493	18-jan-1981	1.098	20-jan-1981	4.236
81-82	11-dez-1981	262	14-mar-1982	1.290	16-mar-1982	4.223
82-83	21-jan-1983	484	23-mar-1983	1.584	11-mar-1983	4.337
83-84	16-dez-1983	493	27-dez-1983	1.445	29-dez-1983	4.678
84-85	27-jan-1985	278	28-jan-1985	2.582	29-jan-1985	5.606
85-86	21-fev-1986	171	21-fev-1986	1.058	31-dez-1985	3.035
86-87	28-dez-1986	379	29-dez-1986	1.858	30-dez-1986	4.098
87-88	11-jan-1988	148	12-fev-1988	1.013	23-fev-1988	2.385
88-89	10-jan-1989	239	17-mar-1989	886	13-jan-1989	2.689
89-90	06-jan-1990	281	05-jan-1990	1.139	06-jan-1990	2.780
90-91	01-abr-1991	411	29-jan-1991	1.364	31-mar-1991	3.209
91-92	24-jan-1992	197	26-jan-1992	3.731	27-jan-1992	7.497
92-93	16-fev-1993	200	03-mar-1993	748	18-fev-1993	2.499
93-94	21-mar-1994	126	15-jan-1994	1.021	23-jan-1994	2.253
94-95	05-fev-1995	339	15-fev-1995	1.342	16-fev-1995	3.809
95-96	13-jan-1996	220	13-jan-1996	978	14-jan-1996	2.736
96-97	23-nov-1996	312	07-jan-1997	2.466	08-jan-1997	4.845
97-98	17-fev-1998	130	20-fev-1998	734	28-fev-1998	2.116
98-99	09-jan-1999	209	09-jan-1999	763	11-jan-1999	2.434
99-00	04-jan-2000	340	29-jan-2000	1.166	08-jan-2000	5.017
00-01	29-dez-2000	123	01-abr-2001	521	30-dez-2000	1.589
01-02	23-fev-2002	191	03-fev-2002	737	10-fev-2002	2.861
02-03	30-jan-2003	221	31-jan-2003	1.330	29-jan-2003	3.806
03-04	26-fev-2004	283	29-fev-2004	1.186	25-fev-2004	3.845
04-05	18-mar-2005	300	25-dez-2004	1.094	24-dez-2004	3.717
05-06	05-jan-2006	235	13-dez-2005	1.078	04-jan-2006	3.002
06-07	19-jan-2007	339	17-jan-2007	1.196	17-jan-2007	4.244
07-08	17-mar-2008	257	16-mar-2008	1.213	17-mar-2008	4.174
08-09	15-fev-2009	223	18-dez-2008	1.328	15-fev-2009	3.566
09-10	30-dez-2009	213	29-dez-2009	1.362	01-jan-2010	2.992

Tabela 9.5 - Séries de vazões diárias máximas anuais, obtidas a partir dos dados da ONS (2012), para os aproveitamento de Ilha Solteira, Itaipu e Jupia.

Ano Hidrológico	Ilha Solteira		Itaipu		Jupia	
	Início do Ano Hidrológico: Setembro					
	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)
31-32	01-fev-1932	12.362	02-fev-1932	18.542	31-jan-1932	14.593
32-33	31-jan-1933	12.231	24-jan-1933	18.182	31-jan-1933	14.185
33-34	18-jan-1934	8.638	18-jan-1934	12.186	18-jan-1934	9.999
34-35	20-fev-1935	14.794	10-mar-1935	18.971	20-fev-1935	17.009
35-36	08-mar-1936	11.534	05-jan-1936	18.255	08-mar-1936	13.682
36-37	20-jan-1937	12.674	15-jan-1937	26.234	20-jan-1937	15.314
37-38	02-jan-1938	12.196	19-nov-1937	21.900	24-dez-1937	13.335
38-39	04-jan-1939	13.737	04-jan-1939	16.480	04-jan-1939	15.413
39-40	20-fev-1940	14.878	23-fev-1940	20.409	22-fev-1940	18.157
40-41	08-jan-1941	11.530	11-fev-1941	17.445	08-jan-1941	12.810
41-42	14-mar-1942	13.631	19-mar-1942	19.576	14-mar-1942	15.299
42-43	31-jan-1943	17.835	27-jan-1943	22.609	31-jan-1943	19.650
43-44	23-fev-1944	10.866	21-mar-1944	16.325	23-fev-1944	11.989
44-45	14-fev-1945	14.174	06-fev-1945	18.333	14-fev-1945	15.939
45-46	10-jan-1946	18.057	06-mar-1946	25.549	10-jan-1946	19.629
46-47	21-mar-1947	19.060	21-mar-1947	24.462	21-mar-1947	21.684
47-48	21-mar-1948	12.593	21-mar-1948	19.096	21-mar-1948	14.698
48-49	04-mar-1949	12.717	02-mar-1949	17.023	04-mar-1949	14.129
49-50	31-jan-1950	13.629	07-mar-1950	18.708	31-jan-1950	15.618
50-51	30-jan-1951	15.177	29-jan-1951	22.487	30-jan-1951	17.881
51-52	18-mar-1952	17.981	18-mar-1952	20.324	18-mar-1952	19.605
52-53	28-mar-1953	9.026	28-mar-1953	11.842	28-mar-1953	9.849
53-54	22-fev-1954	10.850	20-mai-1954	18.296	22-fev-1954	12.541
54-55	27-jan-1955	9.260	23-jun-1955	15.507	27-jan-1955	10.446
55-56	07-jan-1956	11.338	03-jun-1956	18.801	07-jan-1956	12.653
56-57	01-mar-1957	15.535	01-mar-1957	18.440	01-mar-1957	17.161
57-58	29-jan-1958	14.778	25-set-1957	20.567	29-jan-1958	16.993
58-59	29-jan-1959	13.466	08-fev-1959	20.681	26-mar-1959	15.605
59-60	28-jan-1960	12.565	27-jan-1960	17.827	28-jan-1960	15.238
60-61	26-fev-1961	18.480	08-mar-1961	25.175	26-fev-1961	20.653
61-62	16-fev-1962	12.920	27-mar-1962	18.816	22-mar-1962	16.104
62-63	26-dez-1962	16.023	25-jan-1963	21.412	26-dez-1962	17.242
63-64	26-fev-1964	13.181	24-fev-1964	20.988	26-fev-1964	15.648
64-65	28-fev-1965	17.974	08-mar-1965	25.615	01-mar-1965	20.685
65-66	12-fev-1966	18.364	22-fev-1966	25.049	13-mar-1966	20.703
66-67	29-dez-1966	13.968	22-fev-1967	19.797	29-dez-1966	16.836
67-68	30-dez-1967	12.205	24-jan-1968	18.677	30-dez-1967	13.729
68-69	08-dez-1968	11.170	12-dez-1968	12.653	09-dez-1968	11.727
69-70	26-fev-1970	13.610	04-mar-1970	20.697	27-fev-1970	17.972
70-71	16-nov-1970	4.896	09-jan-1971	16.792	15-mar-1971	5.732
71-72	29-dez-1971	12.356	26-fev-1972	22.749	30-dez-1971	13.030
72-73	02-jan-1973	12.208	28-jan-1973	23.502	02-jan-1973	13.129
73-74	21-mar-1974	15.220	27-jan-1974	24.287	26-mar-1974	18.318
74-75	06-jan-1975	11.479	05-jan-1975	19.785	06-jan-1975	13.290
75-76	04-mar-1976	9.448	09-dez-1975	21.351	04-mar-1976	12.086
76-77	04-fev-1977	16.653	10-fev-1977	27.909	05-fev-1977	19.340
77-78	19-jan-1978	17.860	21-jan-1978	21.579	19-jan-1978	19.595

Ano Hidrológico	Ilha Solteira		Itaipu		Jupia	
	Início do Ano Hidrológico: Setembro					
	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)
78-79	31-jan-1979	15.624	27-fev-1979	19.810	31-jan-1979	17.258
79-80	21-fev-1980	17.246	10-mar-1980	26.063	22-fev-1980	19.229
80-81	18-jan-1981	13.680	29-jan-1981	22.246	26-jan-1981	16.656
81-82	30-jan-1982	21.044	27-mar-1982	25.934	30-jan-1982	23.726
82-83	15-fev-1983	25.628	14-jun-1983	40.057	08-fev-1983	30.500
83-84	03-jan-1984	16.831	22-set-1983	28.183	03-jan-1984	19.186
84-85	31-jan-1985	22.519	04-fev-1985	24.592	31-jan-1985	24.469
85-86	17-jan-1986	10.909	22-mai-1986	18.423	21-fev-1986	12.541
86-87	31-dez-1986	15.019	10-fev-1987	26.936	31-dez-1986	17.264
87-88	20-fev-1988	13.064	27-mai-1988	20.285	10-mar-1988	15.177
88-89	17-fev-1989	13.045	19-jan-1989	27.106	17-fev-1989	17.545
89-90	20-dez-1989	15.794	16-jan-1990	37.950	08-jan-1990	20.367
90-91	01-abr-1991	19.277	10-abr-1991	22.605	02-abr-1991	22.589
91-92	06-fev-1992	18.462	06-mai-1992	27.930	06-fev-1992	20.667
92-93	28-fev-1993	13.558	01-mar-1993	26.710	21-fev-1993	16.759
93-94	28-jan-1994	13.557	05-out-1993	25.992	29-jan-1994	15.855
94-95	15-fev-1995	17.736	14-jan-1995	33.779	14-fev-1995	23.511
95-96	14-jan-1996	11.079	25-jan-1996	23.268	14-jan-1996	14.312
96-97	08-jan-1997	19.236	07-fev-1997	42.322	08-jan-1997	21.405
97-98	24-fev-1998	11.782	04-abr-1998	27.026	24-fev-1998	14.379
98-99	09-mar-1999	12.055	15-jan-1999	24.623	16-jan-1999	15.844
99-00	15-fev-2000	14.655	20-fev-2000	26.431	15-fev-2000	17.207
00-01	19-dez-2000	8.776	17-set-2000	22.945	19-dez-2000	10.512
01-02	23-fev-2002	15.218	27-fev-2002	22.774	23-fev-2002	17.932
02-03	02-fev-2003	14.474	01-fev-2003	27.406	03-fev-2003	17.602
03-04	29-fev-2004	17.436	04-mar-2004	23.030	29-fev-2004	20.227
04-05	02-fev-2005	15.707	25-jan-2005	26.243	01-fev-2005	19.476
05-06	09-jan-2006	13.537	14-jan-2006	20.106	09-jan-2006	16.412
06-07	17-jan-2007	20.930	24-jan-2007	32.020	17-jan-2007	24.765
07-08	21-mar-2008	16.203	26-mar-2008	22.061	21-mar-2008	18.116
08-09	29-jan-2009	14.473	03-fev-2009	22.469	30-jan-2009	16.195
09-10	04-jan-2010	13.034	06-fev-2010	31.522	03-jan-2010	17.124

Tabela 9.6 - Séries de vazões diárias máximas anuais, obtidas a partir dos dados da ONS (2012), para os aproveitamento de Mascarenhas de Moraes (Peixoto), Paraibuna/Paraitinga, Porto Primavera

Ano Hidrológico	Mascarenhas de Moraes (Peixoto)		Paraibuna/Paraitinga		Porto Primavera	
	Início do Ano Hidrológico: Setembro		Início do Ano Hidrológico: Agosto		Início do Ano Hidrológico: Setembro	
	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)
31-32	29-jan-1932	2.813	08-dez-1931	234	31-jan-1932	15.188
32-33	01-jan-1933	2.027	30-dez-1932	172	30-jan-1933	15.116
33-34	20-jan-1934	1.862	02-jan-1934	232	18-jan-1934	10.676
34-35	22-fev-1935	3.569	16-fev-1935	248	20-fev-1935	17.037
35-36	03-mar-1936	2.656	30-mar-1936	310	08-mar-1936	13.836
36-37	22-jan-1937	3.781	15-jan-1937	222	20-jan-1937	17.354
37-38	22-dez-1937	3.432	17-fev-1938	269	24-dez-1937	13.575
38-39	03-jan-1939	4.203	01-abr-1939	358	04-jan-1939	15.665
39-40	17-fev-1940	3.660	10-jan-1940	305	20-fev-1940	18.363
40-41	27-dez-1940	4.044	20-fev-1941	151	08-jan-1941	13.245
41-42	10-mar-1942	2.725	23-fev-1942	161	14-mar-1942	16.283
42-43	27-jan-1943	4.438	04-dez-1942	191	31-jan-1943	19.810
43-44	09-mar-1944	2.536	20-fev-1944	372	24-fev-1944	12.183
44-45	09-fev-1945	3.226	02-fev-1945	348	14-fev-1945	16.189
45-46	08-jan-1946	5.852	03-jan-1946	162	10-jan-1946	19.330
46-47	22-mar-1947	6.251	28-jan-1947	321	21-mar-1947	22.103
47-48	19-mar-1948	3.077	21-dez-1947	259	21-mar-1948	15.810
48-49	31-jan-1949	3.464	27-jan-1949	269	04-mar-1949	14.925
49-50	30-jan-1950	3.587	22-fev-1950	398	31-jan-1950	16.086
50-51	30-mar-1951	3.084	07-dez-1950	297	30-jan-1951	18.692
51-52	17-mar-1952	3.720	23-fev-1952	400	18-mar-1952	19.576
52-53	10-abr-1953	1.801	14/12/1952 e 28/03/1953	166	28-mar-1953	10.352
53-54	22-fev-1954	2.263	13-mar-1954	131	22-fev-1954	12.823
54-55	21-jan-1955	2.103	17-jan-1955	168	25-jan-1955	10.664
55-56	06-jan-1956	2.524	21-nov-1955	211	07-jan-1956	13.203
56-57	30-dez-1956	3.119	20-jan-1957	316	01-mar-1957	17.548
57-58	11-fev-1958	2.299	29-jan-1958	262	29-jan-1958	17.565
58-59	12-jan-1959	2.619	17-fev-1959	550	26-mar-1959	16.080
59-60	27-jan-1960	3.726	25-fev-1960	210	28-jan-1960	15.808
60-61	19-fev-1961	4.774	01-mar-1961	374	28-fev-1961	20.182
61-62	16-fev-1962	4.592	15-mar-1962	322	24-mar-1962	16.275
62-63	06-jan-1963	4.007	29-dez-1962	335	28-dez-1962	16.917
63-64	30-jan-1964	3.759	21-fev-1964	185	28-fev-1964	16.177
64-65	28-fev-1965	4.155	20-jan-1965	290	16-mar-1965	20.594
65-66	18-jan-1966	5.350	10-mar-1966	273	16-mar-1966	20.453
66-67	30-dez-1966	5.235	20-fev-1967	649	01-jan-1967	16.772
67-68	16-jan-1968	2.673	25-out-1967	212	02-jan-1968	13.743
68-69	07-dez-1968	3.259	21-fev-1969	469	11-dez-1968	12.076
69-70	01-mar-1970	2.889	15-mar-1970	497	01-mar-1970	19.037
70-71	12-nov-1970	1.987	27-fev-1971	581	18-mar-1971	6.068
71-72	29-dez-1971	3.484	27-ago-1971	268	04-mar-1972	15.060
72-73	31-dez-1972	3.020	18-jan-1973	449	04-jan-1973	14.113
73-74	27-mar-1974	2.957	16-jan-1974	655	02-abr-1974	19.049

Ano Hidrológico	Mascarenhas de Moraes (Peixoto)		Paraibuna/Paraitinga		Porto Primavera	
	Início do Ano Hidrológico: Setembro		Início do Ano Hidrológico: Agosto		Início do Ano Hidrológico: Setembro	
	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)
74-75	29-dez-1974	2.510	06-fev-1975	269	08-jan-1975	15.071
75-76	01-dez-1975	3.570	05-jul-1976	276	07-mar-1976	13.859
76-77	31-jan-1977	3.847	20-jan-1977	413	04-fev-1977	20.852
77-78	20-jan-1978	3.856	12-jan-1978	395	20-jan-1978	19.950
78-79	24-fev-1979	3.281	03-mar-1979	210	01-fev-1979	18.224
79-80	28-jan-1980	4.049	03-fev-1980	231	23-fev-1980	19.659
80-81	21-jan-1981	4.420	18-abr-1981	294	27-jan-1981	17.789
81-82	17-mar-1982	4.716	04-jan-1982	205	25-mar-1982	22.990
82-83	04-fev-1983	6.074	07-abr-1983	322	16-fev-1983	31.088
83-84	30-dez-1983	5.057	31-mar-1984	208	05-jan-1984	20.990
84-85	29-jan-1985	6.477	25-jan-1985	633	02-fev-1985	22.805
85-86	01-jan-1986	3.161	21-mar-1986	202	24-fev-1986	13.735
86-87	29-dez-1986	4.528	05-abr-1987	322	02-jan-1987	17.673
87-88	23-fev-1988	2.631	19-fev-1988	268	13-mar-1988	17.608
88-89	12-jan-1989	3.031	13-fev-1989	296	22-fev-1989	17.706
89-90	06-jan-1990	3.254	20-abr-1990	259	14-jan-1990	23.844
90-91	31-jan-1991	3.829	28-mar-1991	397	08-abr-1991	19.787
91-92	28-jan-1992	7.798	18-jan-1992	261	14-fev-1992	19.713
92-93	08-fev-1993	2.666	27-nov-1992	195	26-fev-1993	18.181
93-94	24-jan-1994	2.652	01-abr-1994	193	31-jan-1994	16.687
94-95	17-fev-1995	4.181	20-fev-1995	379	15-fev-1995	23.526
95-96	14-jan-1996	3.105	14-fev-1996	862	17-jan-1996	14.723
96-97	07-jan-1997	5.216	26-jan-1997	262	05-fev-1997	22.941
97-98	01-mar-1998	2.354	09-jan-1998	226	01-mar-1998	15.733
98-99	09-jan-1999	2.959	07-jan-1999	266	17-jan-1999	18.021
99-00	09-jan-2000	5.277	05-jan-2000	370	16-fev-2000	18.758
00-01	05-jan-2001	1.753	18-dez-2000	232	20-dez-2000	11.652
01-02	11-fev-2002	3.131	03-fev-2002	259	25-fev-2002	19.941
02-03	30-jan-2003	4.145	09-dez-2002	316	05-fev-2003	19.187
03-04	26-fev-2004	4.438	24-fev-2004	270	02-mar-2004	21.086
04-05	25-dez-2004	3.926	05-abr-2005	1.004	04-fev-2005	20.980
05-06	05-jan-2006	3.485	11-fev-2006	296	11-jan-2006	17.731
06-07	18-jan-2007	4.626	29-jan-2007	256	19-jan-2007	26.542
07-08	18-mar-2008	4.608	18-mar-2008	215	23-mar-2008	19.752
08-09	16-fev-2009	3.860	15-fev-2009	317	01-fev-2009	18.261
09-10	02-jan-2010	3.235	01-jan-2010	1.061	05-jan-2010	19.234

Tabela 9.7 - Séries de vazões diárias máximas anuais, obtidas a partir dos dados da ONS (2012), para os aproveitamento de Sobradinho e Três Marias

Ano Hidrológico	Sobradinho		Três Marias	
	Início do Ano Hidrológico: Setembro			
	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)
31-32	05-fev-1932	5.512	24-jan-1932	1.530
32-33	12-fev-1933	6.450	14-jan-1933	3.027
33-34	03-fev-1934	6.949	31-dez-1933	3.245
34-35	07-mar-1935	6.417	05-fev-1935	2.447
35-36	16-mar-1936	4.919	05-mar-1936	1.365
36-37	04-mar-1937	6.319	05-fev-1937	2.908
37-38	29-jan-1938	6.848	27-dez-1937	4.205
38-39	09-mar-1939	7.084	02-jan-1939	3.766
39-40	06-abr-1940	6.188	15-mar-1940	2.647
40-41	26-abr-1941	5.639	25-dez-1940	3.223
41-42	03-fev-1942	5.751	08-jan-1942	2.847
42-43	20-fev-1943	11.199	06-jan-1943	4.064
43-44	26-jan-1944	7.102	23-dez-1943	3.580
44-45	19-mai-1945	9.872	10-fev-1945	3.649
45-46	08-fev-1946	11.778	04-jan-1946	3.962
46-47	28-abr-1947	7.881	19-mar-1947	3.065
47-48	21-jan-1948	6.616	31-dez-1947	2.759
48-49	13-mar-1949	15.003	04-fev-1949	4.205
49-50	09-jan-1950	5.513	27-dez-1949	2.285
50-51	17-abr-1951	5.704	01-abr-1951	2.893
51-52	22-abr-1952	7.743	07-mar-1952	3.202
52-53	08-jan-1953	5.167	28-mar-1953	1.421
53-54	10-jan-1954	5.387	21-nov-1953	1.851
54-55	12-fev-1955	5.136	26-jan-1955	2.771
55-56	25-jan-1956	5.913	31-dez-1955	2.551
56-57	23-abr-1957	8.199	01-jan-1957	3.734
57-58	25-fev-1958	5.529	07-dez-1957	2.573
58-59	22-mar-1959	4.921	07-mar-1959	1.956
59-60	10-mar-1960	7.951	26-jan-1960	2.383
60-61	21-fev-1961	8.128	18-fev-1961	4.318
61-62	17-fev-1962	5.654	16-fev-1962	1.952
62-63	13-fev-1963	7.704	22-dez-1962	2.787
63-64	25-fev-1964	8.176	27-jan-1964	3.976
64-65	16-abr-1965	6.521	23-fev-1965	3.479
65-66	13-mar-1966	7.523	16-jan-1966	4.236
66-67	13-jan-1967	6.153	28-dez-1966	2.884
67-68	02-abr-1968	7.267	01-mar-1968	2.776
68-69	23-dez-1968	5.380	08-dez-1968	2.515
69-70	24-fev-1970	6.655	17-nov-1969	2.925
70-71	27-nov-1970	3.917	12-nov-1970	1.309
71-72	31-dez-1971	7.059	04-dez-1971	3.418
72-73	17-abr-1973	5.339	12-mar-1973	3.091
73-74	13-abr-1974	5.902	18-jan-1974	1.976
74-75	23-jan-1975	5.121	03-jan-1975	2.193
75-76	12-dez-1975	3.359	30-nov-1975	2.190
76-77	05-fev-1977	6.777	31-jan-1977	2.281
77-78	26-jan-1978	7.640	16-jan-1978	4.194

Ano Hidrológico	Sobradinho		Três Marias	
	Início do Ano Hidrológico: Setembro			
	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)
78-79	09-mar-1979	18.525	07-fev-1979	5.744
79-80	01-mar-1980	13.664	17-jan-1980	4.344
80-81	17-abr-1981	6.920	16-jan-1981	2.425
81-82	28-fev-1982	9.429	27-jan-1982	4.710
82-83	16-mar-1983	10.455	12-fev-1983	7.245
83-84	02-jan-1984	6.851	15-dez-1983	3.821
84-85	04-mar-1985	9.093	30-jan-1985	4.586
85-86	11-fev-1986	8.543	17-jan-1986	3.663
86-87	10-jan-1987	4.382	01-jan-1987	2.537
87-88	05-jan-1988	6.194	12-fev-1988	2.889
88-89	04-jan-1989	4.746	16-fev-1989	1.561
89-90	21-jan-1990	11.450	16-dez-1989	2.790
90-91	31-jan-1991	6.615	16-jan-1991	3.827
91-92	05-mar-1992	16.895	09-fev-1992	6.040
92-93	13-jan-1993	6.483	14-dez-1992	2.917
93-94	31-mar-1994	7.141	16-jan-1994	3.477
94-95	25-fev-1995	4.504	26-dez-1994	2.006
95-96	15-jan-1996	5.529	16-dez-1995	2.990
96-97	18-jan-1997	7.350	10-jan-1997	6.762
97-98	30-dez-1997	5.380	18-dez-1997	2.575
98-99	18-mar-1999	5.769	08-mar-1999	2.850
99-00	23-fev-2000	6.214	11-fev-2000	3.341
00-01	31-dez-2000	4.704	20-dez-2000	1.850
01-02	23-fev-2002	5.560	19-jan-2002	3.896
02-03	04-fev-2003	5.784	20-jan-2003	3.039
03-04	19-mar-2004	7.309	05-mar-2004	3.485
04-05	31-mar-2005	5.960	05-jan-2005	3.218
05-06	30-mar-2006	5.713	15-dez-2005	4.275
06-07	18-mar-2007	8.194	13-dez-2006	4.156
07-08	02-abr-2008	5.484	07-fev-2008	3.303
08-09	22-jan-2009	6.205	23-dez-2008	4.181
09-10	14-jan-2010	4.688	08-dez-2009	2.241

Tabela 9.8 - Séries de vazões diárias máximas anuais (m³/s), obtidas a partir dos dados da CNEC/ESIN/PROA (2010), para El Soberbio, Garruchos, Paso De Los Libres e San Javier

Ano Hidrológico	El Soberbio		Garruchos		Paso De Los Libres		San Javier	
	Data	Vazão Máx. Anual	Data	Vazão Máx. Anual	Data	Vazão Máx. Anual	Data	Vazão Máx. Anual
1931	*	*	04-mai-31	15.431	22-set-31	11.717	03-mai-31	19.236
1932	*	*	28-mai-32	23.308	01-mai-32	19.648	27-mai-32	29.260
1933	*	*	07-out-33	14.580	12-out-33	12.588	06-out-33	18.829
1934	*	*	08-ago-34	7.832	12-mai-34	10.128	08-ago-34	10.227
1935	*	*	18-out-35	23.238	23-out-35	25.365	18-out-35	26.178
1936	*	*	12-jun-36	25.965	16-jun-36	25.750	10-jun-36	30.003
1937	*	*	24-set-37	11.874	28-set-37	14.620	23-set-37	12.154
1938	*	*	02-mai-38	14.561	06-mai-38	17.089	24-mai-38	18.027
1939	*	*	01-jul-39	20.636	06-jul-39	18.653	30-jun-39	26.178
1940	*	*	28-abr-40	10.570	26-jun-40	14.556	27-abr-40	12.721
1941	01-ago-41	18.679	04-mai-41	18.388	10-mai-41	31.168	05-ago-41	20.900
1942	21-mai-42	10.293	22-mai-42	12.894	26-mai-42	18.982	22-mai-42	13.356
1943	24-jun-43	17.093	05-ago-43	14.524	09-ago-43	11.378	04-ago-43	18.829
1944	27-jun-44	6.231	27-jun-44	5.028	01-jul-44	7.189	26-jun-44	5.424
1945	*	*	26-set-45	3.069	09-dez-45	7.431	28-set-45	3.726
1946	28-jun-46	11.676	27-jan-46	16.363	31-jan-46	11.831	26-jan-46	21.683
1947	26-set-47	11.786	14-jun-47	12.113	24-mai-47	15.432	27-set-47	12.921
1948	03-ago-48	21.797	02-nov-48	10.683	20-abr-48	13.339	04-ago-48	20.060
1949	13-jun-49	5.897	07-out-49	5.227	11-out-49	10.743	17-jun-49	7.831
1950	16-out-50	15.513	19-out-50	20.746	24-out-50	16.710	20-out-50	20.724
1951	16-nov-51	15.469	21-out-51	17.099	25-out-51	17.438	16-nov-51	19.475
1952	10-out-52	10.494	11-out-52	11.823	28-jul-52	13.126	11-out-52	14.544
1953	26-out-53	15.251	27-out-53	16.363	09-out-53	21.249	26-out-53	18.259
1954	12-set-54	21.005	15-set-54	23.612	28-out-54	21.916	14-set-54	30.045
1955	11-jul-55	14.385	13-jul-55	16.343	17-jul-55	14.652	12-jul-55	19.304
1956	08-mai-56	8.773	08-abr-56	12.929	12-abr-56	14.270	08-abr-56	13.649
1957	20-ago-57	21.163	22-ago-57	17.728	15-set-57	14.652	20-ago-57	23.213
1958	19-nov-58	9.826	21-nov-58	10.394	13-out-58	12.206	20-nov-58	14.393
1959	28-abr-59	10.092	30-abr-59	10.506	02-mai-59	15.663	29-abr-59	12.807
1960	26-set-60	9.693	27-set-60	11.976	30-set-60	14.845	27-set-60	14.454
1961	30-set-61	24.220	02-out-61	20.593	07-out-61	20.593	01-out-61	26.608
1962	20-set-62	11.717	22-set-62	9.685	26-set-62	9.685	22-set-62	13.532
1963	09-nov-63	37.039	12-nov-63	25.750	16-nov-63	25.750	09-nov-63	33.016
1964	04-set-64	6.107	12-nov-64	9.557	28-abr-64	9.557	03-mai-64	8.456
1965	20-ago-65	48.234	24-ago-65	23.772	29-ago-65	23.772	22-ago-65	40.625
1966	16-fev-66	13.530	18-set-66	15.432	22-set-66	15.432	18-fev-66	17.338
1967	25-ago-67	17.919	26-ago-67	18.472	31-ago-67	18.472	26-ago-67	22.882
1968	12-jul-68	4.647	26-ago-68	9.253	15-nov-68	9.253	02-nov-68	7.501
1969	09-nov-69	15.688	11-nov-69	14.877	15-nov-69	14.877	11-jan-69	18.863
1970	15-jun-70	10.159	11-jul-70	10.731	29-jun-70	13.522	16-jun-70	13.473
1971	07-jul-71	14.600	07-jul-71	15.719	11-jul-71	15.333	06-jul-71	19.646

Ano Hidrológico	El Soberbio		Garruchos		Paso De Los Libres		San Javier	
	Data	Vazão Máx. Anual	Data	Vazão Máx. Anual	Data	Vazão Máx. Anual	Data	Vazão Máx. Anual
	Início do Ano Hidrológico: Janeiro							
1972	29-ago-72	30.118	29-ago-72	26.582	16-jun-72	27.898	29-ago-72	38.131
1973	23-jul-73	14.027	25-jul-73	15.971	29-jul-73	18.581	24-jul-73	19.646
1974	11-jun-74	7.677	13-jun-74	9.874	16-jun-74	9.892	12-jun-74	11.680
1975	04-out-75	16.795	05-out-75	15.565	20-set-75	15.663	05-out-75	20.409
1976	30-mai-76	11.758	08-nov-76	13.053	11-nov-76	12.945	07-nov-76	16.468
1977	19-ago-77	17.377	21-ago-77	14.283	25-ago-77	13.738	20-ago-77	21.006
1978	22-nov-78	7.043	23-nov-78	10.046	27-out-78	2.369	22-nov-78	12.521
1979	08-out-79	16.026	10-out-79	20.416	14-out-79	24.395	09-out-79	23.103
1980	24-ago-80	10.420	26-ago-80	11.106	04-nov-80	15.039	25-ago-80	14.393
1981	23-dez-81	6.098	24-dez-81	5.804	01-out-81	6.122	24-dez-81	8.949
1982	25-out-82	13.819	14-nov-82	16.108	19-nov-82	23.855	26-out-82	19.887
1983	10-jul-83	45.064	14-jul-83	41.934	19-jul-83	35.075	09-jul-83	53.423
1984	08-ago-84	27.438	10-ago-84	29.958	16-ago-84	21.522	09-jun-84	27.893
1985	09-mai-85	10.358	11-mai-85	14.599	09-ago-85	14.429	10-mai-85	9.489
1986	01-jun-86	9.233	09-abr-86	13.971	16-abr-86	20.593	16-abr-86	7.472
1987	16-mai-87	19.067	18-mai-87	19.400	22-abr-87	22.153	17-mai-87	15.727
1988	05-mai-88	10.280	07-mai-88	10.490	30-set-88	10.689	06-mai-88	5.634
1989	14-set-89	20.066	16-set-89	25.209	22-set-89	19.685	06-mai-89	12.606
1990	01-jun-90	29.998	08-jun-90	34.903	13-jun-90	31.358	07-jun-90	42.653
1991	22-jun-91	9.585	23-jun-91	11.672	27-jun-91	11.860	22-jun-91	15.123
1992	30-mai-92	32.567	01-jun-92	35.216	06-jun-92	28.710	31-mai-92	45.128
1993	06-jul-93	18.836	08-jul-93	20.024	13-jul-93	15.796	07-jul-93	26.726
1994	06-jul-94	13.720	08-jul-94	19.039	13-jul-94	18.909	07-jul-94	20.971
1995	06-out-95	12.498	08-out-95	13.898	11-out-95	13.584	07-out-95	17.013
1996	10-jul-96	10.607	05-fev-97	11.554	16-fev-96	11.632	21-out-96	14.756
1997	13-out-97	22.715	15-out-97	27.408	22-out-97	31.739	06-ago-97	22.845
1998	30-abr-98	19.085	01-mai-98	20.878	05-mai-98	23.485	01-mai-98	25.133
1999	05-jul-99	16.978	06-jul-99	18.388	10-jul-99	14.176	05-jul-99	24.372
2000	15-out-00	18.570	17-out-00	19.636	22-out-00	15.796	16-out-00	25.248
2001	09-out-01	15.473	11-out-01	16.442	14-out-01	16.098	10-out-01	22.662
2002	20-set-02	10.358	21-set-02	16.088	17-out-02	23.731	20-set-02	17.796
2003	23-dez-03	11.204	16-dez-03	15.240	27-dez-03	20.708	24-dez-03	17.435
2004	30-set-04	7.864	01-out-04	7.973	16-nov-04	8.710	01-out-04	10.890
2005	18-jun-05	22.138	20-jun-05	27.787	24-jun-05	23.855	19-jun-05	32.886
2006	20-nov-06	6.588	21-nov-06	8.143	24-nov-06	8.446	21-nov-06	11.214
2007	23-mai-07	13.654	24-mai-07	15.797	27-mai-07	13.987	23-mai-07	20.130

*Dados não disponíveis para o ano hidrológico.

Tabela 9.9 - Séries de vazões diárias máximas anuais, obtidas a partir dos dados da SSRH (2010), para Paso de Los Libres.

Ano Hidrológico*	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)	Ano Hidrológico*	Data	Vazão Máx. Anual (m³/s)
1908	12-jun-1908	11.853	1961	07-out-1961	20.562
1909	13-jul-1909	9.062	1962	26-set-1962	9.866
1910	05-ago-1910	13.820	1963	16-nov-1963	26.563
1911	11-out-1911	23.686	1964	28-abr-1964	9.753
1912	19-ago-1912	18.532	1965	29-ago-1965	24.193
1913	30-mar-1913	12.864	1966	22-set-1966	14.937
1914	05-set-1914	17.082	1967	31-ago-1967	18.189
1915	01-abr-1915	16.785	1968	15-nov-1968	9.497
1916	16-jun-1916	20.848	1969	16-jan-1969	14.700
1917	11-out-1917	3.039	1970	29-jun-1970	13.148
1918	07-out-1918	14.928	1971	11-jul-1971	14.821
1919	25-nov-1919	23.148	1972	16-jun-1972	29.137
1920	**	**	1973	29-jul-1973	18.305
1921	04-out-1921	17.670	1974	16-jun-1974	10.050
1922	03-jul-1922	15.643	1975	20-set-1975	15.179
1923	26-jun-1923	30.369	1976	11-nov-1976	12.672
1924	28-jun-1924	10.183	1977	25-ago-1977	13.325
1925	01-jun-1925	16.513	1978	27-nov-1978	15.091
1926	02-out-1926	16.513	1979	14-out-1979	24.953
1927	17-nov-1927	24.785	1980	04-nov-1980	14.511
1928	23-set-1928	25.850	1981	01-out-1981	6.593
1929	22-out-1929	30.604	1982	19-nov-1982	24.332
1930	07-set-1930	16.729	1983	19-jul-1983	38.256
1931	22-set-1931	11.632	1984	16-ago-1984	21.587
1932	01-mai-1932	19.547	1985	09-ago-1985	13.893
1933	12-out-1933	12.370	1986	14-abr-1986	22.970
1934	12-mai-1934	10.272	1987	22-abr-1987	22.349
1935	23-out-1935	26.092	1988	30-set-1988	10.750
1936	16-jun-1936	26.563	1989	22-set-1989	19.561
1937	28-set-1937	14.082	1990	13-jun-1990	33.267
1938	06-mai-1938	16.698	1991	27-jun-1991	11.749
1939	06-jul-1939	18.398	1992	06-jun-1992	30.153
1940	26-jun-1940	14.027	1993	13-jul-1993	15.307
1941	10-mai-1941	33.239	1994	13-jul-1994	18.714
1942	26-mai-1942	18.747	1995	11-out-1995	13.215
1943	09-ago-1943	11.352	1996	16-fev-1996	11.568
1944	01-jul-1944	7.618	1997	22-out-1997	33.921
1945	09-dez-1945	7.844	1998	05-mai-1998	23.917
1946	31-jan-1946	11.725	1999	10-jul-1999	13.692
1947	24-mai-1947	14.929	2000	22-out-2000	15.318
1948	20-abr-1948	12.988	2001	14-out-2001	14.677
1949	11-out-1949	10.803	2002	17-out-2002	24.185
1950	24-out-1950	16.293	2003	27-dez-2003	18.356
1951	25-out-1951	17.053	2004	01-jan-2004	13.297
1952	28-jul-1952	12.852	2005	24-jun-2005	21.659
1953	09-out-1953	21.302	2006	24-nov-2006	8.154
1954	28-out-1954	22.076	2007	27-mai-2007	12.969
1955	17-jul-1955	14.120	2008	06-nov-2008	19.108
1956	12-abr-1956	13.778	2009	01-dez-2009	21.647
1957	15-set-1957	14.112	2010	03-mai-2010	13.988
1958	13-out-1958	12.043	2011	28-jul-2011	14.720
1959	02-mai-1959	15.158	2012	03-nov-2012	11.102
1960	30-set-1960	14.323			

*Início do ano hidrológico em janeiro; **Dados não disponíveis para o ano hidrológico.