



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

# **PREVISÃO DE VAZÕES PARA MINI-CENTRAIS HIDRELÉTRICAS**

**- ESTUDO DE CASO -**

Carlos Eduardo de Oliveira Monteiro

Itajubá- MG, dezembro de 2019

# **UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

## **PREVISÃO DE VAZÕES PARA MINI-CENTRAIS HIDRELÉTRICAS**

**- ESTUDO DE CASO -**

Autor: Carlos Eduardo de Oliveira Monteiro

Orientador: Prof. Dr. Pedro Paulo Balestrassi

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Sistemas Elétricos de Potência

Itajubá - MG, dezembro de 2019

# **UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica

## **PREVISÃO DE VAZÕES PARA MINI-CENTRAIS HIDRELÉTRICAS**

**- ESTUDO DE CASO -**

Autor: Carlos Eduardo de Oliveira Monteiro

Dissertação aprovada por banca examinadora em 02 de dezembro de 2019, conferindo ao autor o título de Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Madson Cortes de Almeida - UNICAMP

Prof. Dr. Antonio Carlos Zambroni de Souza - UNIFEI

Prof. Dr. Pedro Paulo Balestrassi - UNIFEI

Monteiro, Carlos Eduardo de Oliveira

Previsão de Vazões para Mini-Centraís Hidrelétricas: Estudo de Caso / Carlos Eduardo de Oliveira Monteiro – Itajubá - MG, 2019.

139f.; II.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Itajubá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, 2019.

Orientador: Dr. Pedro Paulo Balestrassi

1. Previsão. 2. Vazões. 3. Hidrelétrica. 4. Previsão de Vazões para Mini-centrais Hidrelétricas

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelos objetivos que tenho alcançado, tanto na minha vida pessoal como na vida profissional. A realização deste trabalho é fruto das oportunidades profissionais que vem se abrindo, sendo que somente tenho a agradecer.

Também agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Pedro Paulo Balestrassi por todas as contribuições e orientações realizadas, em especial, lhe agradeço pelo tempo dispendido e pela atenção ao tratar dos assuntos relacionados à estatística de previsões.

Ao Prof. Dr. Arthur Benedicto Ottoni pelas diversas reuniões e pela revisão de todo o estudo hidrológico realizado, sem o qual não teríamos alcançado uma aplicação prática satisfatória para este item.

Ao Prof. Dr. Augusto Nelson Carvalho Viana pela reunião e pelos esclarecimentos necessários à adoção da tecnologia BFT – Bombas Funcionando como Turbina neste trabalho.

Finalmente agradeço ao amigo engenheiro Daniel Tavares dos Santos, da empresa MH Consultoria Especializada em Centrais Hidrelétricas, pelas várias horas de avaliação da viabilidade de reativação do potencial estudado.

## RESUMO

Esta dissertação tem como objetivo identificar modelos estocásticos ARIMA (Modelo Auto-regressivo Integrado de Médias Móveis) que forneçam previsões de vazões mensais no horizonte de médio prazo (anual) e no de curto prazo (mensal) para uma mini-central hidrelétrica com possibilidade de reativação.

O estudo de caso é composto por uma micro bacia hidrográfica que abrigou uma micro usina hidrelétrica desativada há mais de 40 anos. Foram obtidos dados hidrológicos para esta bacia e em seguida realizado o seu estudo hidrológico bem como o seu estudo de motorização.

A identificação dos modelos tentativos de previsão de vazões foi realizada com a prévia análise e transformação dos dados históricos de vazões e posterior aplicação da metodologia *Box-Jenkins*.

A seleção dos modelos de curto prazo e médio prazo foi feita com a escolha dos modelos tentativos que apresentaram o menor índice MAPE (Erro Médio Percentual Absoluto) para cada um dos horizontes temporais analisados. Com os modelos obtidos foi possível realizar previsões no curto prazo com MAPE de 20,02% e previsões no médio prazo com MAPE de 28,25%.

Foi realizada uma comparação entre as previsões obtidas com os modelos escolhidos e as previsões realizadas pelo ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) nos aproveitamentos da bacia do Rio Paraná, sendo que o modelo de curto prazo não apresentou desempenho nem superior nem inferior aos modelos do ONS, já o modelo de médio prazo apresentou desempenho inferior.

E, por último, foram comparadas a ENA (Energia Natural Afluente) prevista com a ENA que seria observada para o potencial no ano de 2008. Nesta situação a energia prevista foi 0,266% acima da energia que seria observada, o que significou um excelente resultado.

**Palavras-chave:** 1. Previsão. 2. Vazões. 3. Hidrelétrica. 4. Previsão de Vazões para Mini-centrais Hidrelétricas

## ABSTRACT

This dissertation has the main aim to identify stochastic models ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average Model) that provide monthly water inflow forecast in a mid-term (annual) and in a short-term (month) horizon for a small hydroelectric power plant that can be reactivated.

The case study is composed of a micro hydrographic basin that hosted a small hydroelectric power plant that has been deactivated more than 40 years. Hydrologic data for this basin has been obtained following its hydrologic study, as well as its motorization study.

The identification of the water inflow forecast tentative models was made with previous analysis of historic data, its transformation and subsequent Box-Jenkins methodology application.

The short-term and mid-term model selection was made with the tentative model's choice that presented the lowest MAPE (Mean Absolute Percent Forecast Error) indicator for each analyzed horizon. With the selected models it was possible to make short-term forecasts of 20,02% of MAPE and mid-term forecasts of 28,25% of MAPE.

A comparison was made between the forecasts obtained through chosen models and the ONS's (Independent System Operator) forecasts in Paraná river basin's potentials. The short-term model didn't show neither superior, neither inferior performance related to ONS's models, and mid-term model showed inferior performance.

Finally, the forecasted ENA (Affluent Natural Energy) and the ENA that would be observed were compared at the potential in 2008. On this situation, the forecasted energy was 0,266% higher than the observed energy, which means an excellent result.

**Keywords** - 1. Forecast. 2. Inflows. 3. Hydroelectric. I. Water Inflow Forecast for Small Hydroelectric Power Plants

# SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 15 |
| 1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA.....                             | 18 |
| 1.1.1 OBJETIVO PRINCIPAL.....                              | 18 |
| 1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS.....                            | 18 |
| 1.1.3 JUSTIFICATIVA.....                                   | 18 |
| 1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....                        | 19 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA PRINCIPAL.....                    | 20 |
| 2.1 TRABALHOS REALIZADOS.....                              | 20 |
| 2.2 METODOLOGIA DE BOX-JENKINS.....                        | 28 |
| 2.2.1 SÉRIES TEMPORAIS.....                                | 29 |
| 2.2.2 PROCESSOS ESTOCÁSTICOS.....                          | 31 |
| 2.2.3 MODELOS PARA SÉRIES TEMPORAIS.....                   | 33 |
| 2.2.4 PREVISÃO COM MODELOS ARIMA.....                      | 34 |
| 2.2.5 AVALIAÇÃO DE PREVISÕES.....                          | 35 |
| 2.3 HIDROLOGIA.....  | 36 |
| 2.3.1 BACIA HIDROGRÁFICA.....                              | 36 |
| 2.3.2 TRANSPOSIÇÃO DE VAZÕES.....                          | 38 |
| 2.3.3 CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES.....                  | 39 |
| 2.3.4 CURVA DE ENERGIA.....                                | 41 |
| 3. MODELOS DE PREVISAO DO SISTEMA ELETRICO BRASILEIRO..... | 42 |
| 3.1 O PROCESSO DE PREVISAO.....                            | 42 |
| 3.2 O MODELO PREVIVAZ.....                                 | 44 |
| 3.3 O MODELO PREVIVAZM.....                                | 46 |
| 3.4 O MODELO PREVIVAZH.....                                | 47 |
| 3.5 ENERGIA NATURAL AFLUENTE (ENA).....                    | 47 |
| 4. ESTUDO HIDROLÓGICO.....                                 | 48 |
| 4.1 FERRAMENTAS E METODOLOGIA.....                         | 48 |
| 4.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA.....      | 49 |
| 4.3 SELEÇÃO DE DADOS HIDROLÓGICOS.....                     | 51 |
| 4.4 PREENCHIMENTO DE FALHAS.....                           | 54 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.5 TRANSPOSIÇÃO DE VAZÕES .....                            | 56  |
| 4.6 RESULTADOS DO ESTUDO .....                              | 57  |
| 4.6.1 CURVA DE PERMANÊNCIA.....                             | 57  |
| 4.6.2 VAZÕES MÉDIAS .....                                   | 59  |
| 4.6.3 VAZÕES MÁXIMAS .....                                  | 61  |
| 4.6.4 VAZÕES MÍNIMAS .....                                  | 65  |
| 5. ESTUDO ENERGÉTICO.....                                   | 68  |
| 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO.....                   | 68  |
| 5.2 QUEDA BRUTA .....                                       | 72  |
| 5.3 TECNOLOGIA ADOTADA.....                                 | 74  |
| 5.4 RENDIMENTO DO APROVEITAMENTO.....                       | 75  |
| 5.5 ESTUDO DE MOTORIZAÇÃO .....                             | 77  |
| 6. IDENTIFICAÇÃO DE MODELOS .....                           | 87  |
| 6.1 ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS.....                       | 87  |
| 6.2 TRANSFORMAÇÕES NOS DADOS.....                           | 97  |
| 6.3 MODELOS TENTATIVOS DE CURTO PRAZO .....                 | 98  |
| 6.4 MODELOS TENTATIVOS DE MÉDIO PRAZO .....                 | 101 |
| 7. AVALIAÇÃO DE MODELOS .....                               | 105 |
| 7.1 MODELO DE CURTO PRAZO .....                             | 105 |
| 7.2 MODELOS DE MEDIO PRAZO .....                            | 106 |
| 7.3 QUALIDADE DAS PREVISÕES.....                            | 107 |
| 8. PREVISÃO ANUAL DE VAZÕES E ENERGIA .....                 | 110 |
| 8.1 PREVISÃO ANUAL DE VAZÃO NATURAL AFLUENTE .....          | 110 |
| 8.2 PREVISÃO ANUAL DA ENERGIA NATURAL AFLUENTE .....        | 110 |
| 9. CONCLUSOES E PERSPECTIVAS .....                          | 114 |
| 9.1 CONCLUSOES .....  | 114 |
| 9.2 PERSPECTIVAS FUTURAS E SUGESTÕES.....                   | 114 |
| 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                         | 116 |
| APÊNDICES.....  | 120 |
| APÊNDICE A – DADOS HIDROLÓGICOS.....                        | 121 |
| A.1 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “A” ..... | 121 |
| A.2 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “B” ..... | 122 |

|  |     |
|--|-----|
| A.3 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “C” .....  | 122 |
| A.4 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “D” .....  | 123 |
| A.5 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “E” .....  | 124 |
| A.6 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “F” .....  | 125 |
| A.7 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “G” .....  | 126 |
| A.8 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “H” .....  | 127 |
| A.9 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “I” .....  | 128 |
| A.10 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “J” ..... | 129 |
| A.11 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “K” ..... | 130 |
| A.12 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “L” ..... | 131 |
| A.13 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “M” ..... | 132 |
| A.14 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “N” ..... | 133 |
| APÊNDICE B – PREENCHIMENTO DE FALHAS .....                   | 134 |
| B.1 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “C” .....  | 134 |
| B.2 Vazões Máximas Mensais – Estação Fluviométrica “C” ..... | 135 |
| B.3 Vazões Mínimas Mensais – Estação Fluviométrica “C” ..... | 136 |
| APÊNDICE C – DADOS HIDROLÓGICOS DA BACIA ESTUDADA .....      | 137 |
| C.1 Vazões Médias Mensais – Bacia Estudada .....             | 137 |
| C.2 Vazões Mínimas Mensais – Bacia Estudada .....            | 138 |
| C.2 Vazões Máximas Mensais – Bacia Estudada .....            | 139 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1.1 - Energia produzida no Brasil em 2018 por fonte energética .....                          | 15 |
| Tabela 2.1 – MAPE(%) das previsões com Mineração de Dados .....                                      | 21 |
| Tabela 2.2- MAPE(%) das previsões com Previzaz (1997 a 2004) .....                                   | 21 |
| Tabela 2.3- MAPE(%) com diferentes métodos de previsão (jan/2002 a dez/2003) .....                   | 22 |
| Tabela 2.4- Correlação adimensional entre vazões observadas e vazões previstas .....                 | 23 |
| Tabela 2.5 – Modelos de previsão desenvolvidos pelo CEPEL.....                                       | 23 |
| Tabela 2.6 – MAPE(%) para o aproveitamento de Itaipu .....   | 23 |
| Tabela 2.7- MAPE(%) para previsões de 1 (uma) semana a frente .....                                  | 24 |
| Tabela 2.8 – MAPE(%) para previsões na bacia do Rio Paranaíba .....                                  | 25 |
| Tabela 2.9- MAPE(%) para previsões de Sobradinho utilizando modelo CPINS.....                        | 25 |
| Tabela 2.10- MAPE(%) das previsões da UHE Salto Osório com modelo SMAP .....                         | 25 |
| Tabela 3.1– Modelos hidrológicos utilizados para previsão de vazões no SIN.....                      | 43 |
| Tabela 3.2 - Alternativas de Modelagem Hidrológica no Previzaz.....                                  | 45 |
| Tabela 3.3- Alternativas de Modelagem Hidrológica no PrevizazM.....                                  | 46 |
| Tabela 4.1 – Características fisiográficas da bacia estudada.....                                    | 51 |
| Tabela 4.2 – Estações fluviométricas próximas à área de interesse .....                              | 52 |
| Tabela 4.3 – Falha de dados na estação base.....   | 54 |
| Tabela 4.4 – Correlação da estação base “C” com as demais estações .....                             | 55 |
| Tabela 4.5 – Correlação de vazões máximas e mínimas .....  | 56 |
| Tabela 4.6 – Pontos de superação de vazão da curva de permanência (período completo e mensal).....   | 58 |
| Tabela 4.7 – Vazões máximas instantâneas anuais .....  | 62 |
| Tabela 4.8 – Mapa de risco futuro de ocorrência de cheias .....                                      | 63 |
| Tabela 4.9 – Vazões mínimas anuais com duração de 7 dias.....  | 66 |
| Tabela 5.1 – Rendimento das estruturas do aproveitamento .....                                       | 75 |
| Tabela 5.2 – Rendimento do aproveitamento para os intervalos da curva de permanência de vazões ..... | 79 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 5.3 – Mapa de produção de energia anual (kWh) para as vazões de projeto .....  | 82  |
| Tabela 5.4 - Motorização para vazões de projeto .....   | 84  |
| Tabela 5.5 - Seleção de BFT pelo método de Chapallaz .....  | 85  |
| Tabela 6.1 – Séries de meses idênticos e série completa.....  | 87  |
| Tabela 6.2 – Análise de tendência das séries.....   | 87  |
| Tabela 6.3 – Identificação de periodicidades das séries de meses idênticos .....  | 90  |
| Tabela 6.4 – Transformações nos dados.....  | 98  |
| Tabela 6.5 - Modelos ajustados para a série completa .....  | 99  |
| Tabela 6.6 - Séries de meses idênticos para identificação de modelos .....  | 102 |
| Tabela 6.7 – Modelos ARIMA / SARIMA tentativos de médio prazo .....   | 103 |
| Tabela 7.1 – Período selecionado para avaliação de modelos .....  | 105 |
| Tabela 7.2 – MAPEs para os modelos tentativos da série completa.....  | 105 |
| Tabela 7.3 - MAPEs para os modelos tentativos das séries de meses idênticos .....   | 106 |
| Tabela 7.4 – Índices MAPE anuais para a previsão de vazões semanais dos aproveitamentos do SIN localizados na bacia do Rio Paraná de 1997 até 2008..... | 108 |
| Tabela 8.1 - Vazões naturais afluentes previstas e observadas para 2008.....  | 110 |
| Tabela 8.2 - Rendimento do aproveitamento para as vazões previstas no ano de 2008....   | 111 |
| Tabela 8.3 - Mapa de produção de energia anual (kWh) para as vazões previstas no ano de 2008 .....  | 112 |

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Ilustração 2.1 - MAPE(%) das previsões em Sobradinho com modelo MGB-IPH.....  | 26 |
| Ilustração 2.2 - – Estágios da metodologia de Box-Jenkins .....   | 29 |
| Ilustração 2.3 – Exemplo de Bacia Hidrográfica.....   | 36 |
| Ilustração 2.4 – Curva de Permanência de Vazões .....   | 40 |
| Ilustração 2.5 - a) Curva de duração de potência, b) Curva Energia X Potência Instalada...  | 41 |
| Ilustração 3.1 – Interação entre os modelos hidrológicos de previsão de vazões e a cadeia de planejamento da operação do SIN..... | 44 |
| Ilustração 4.1 – Delimitação da Área de drenagem da Bacia Hidrológica .....   | 50 |
| Ilustração 4.2 – Raio de seleção de estações fluviométricas .....   | 53 |
| Ilustração 4.3 – Correlação entre estações fluviométrica “C” e “D” .....  | 55 |
| Ilustração 4.4 – Correlação entre estações fluviométrica “C” e “G” .....  | 56 |
| Ilustração 4.5 – Curva de permanência para a bacia estudada.....  | 57 |
| Ilustração 4.6 – Vazão média diária da bacia estudada .....   | 59 |
| Ilustração 4.7 - Vazão média diária no ano de 2008 .....  | 60 |
| Ilustração 4.8 – Vazão máxima diária registrada nos meses avaliados.....  | 64 |
| Ilustração 4.9 - Vazão mínima diária registrada nos meses avaliados .....   | 65 |
| Ilustração 5.1 – Barragem de concreto e tomada d’água .....   | 68 |
| Ilustração 5.2 – Corte transversal da barragem de concreto .....  | 69 |
| Ilustração 5.3 – Primeira parte do canal de Adução.....   | 69 |
| Ilustração 5.4 – Segunda parte do canal de Adução .....   | 69 |
| Ilustração 5.5 - Desarenador.....   | 70 |
| Ilustração 5.6 – Câmara de carga.....   | 70 |
| Ilustração 5.7 – Conduto forçado .....  | 71 |
| Ilustração 5.8 – Local da casa de máquinas com canal de fuga .....  | 71 |
| Ilustração 5.9 – Primeiro desnível .....  | 72 |
| Ilustração 5.10 – Segundo desnível .....  | 72 |
| Ilustração 5.11 – Terceiro desnível .....   | 73 |

|  |     |
|--|-----|
| Ilustração 5.12 – Topografia do desnível total.....  | 73  |
| Ilustração 5.13 - Curva de rendimento da BFT em função da vazão para 1800rpm.....  | 76  |
| Ilustração 5.14 – Curva de Energia.....  | 81  |
| Ilustração 6.1 – Análise espectral para a série completa .....   | 89  |
| Ilustração 6.2 – Periodograma para as séries de meses idênticos.....   | 91  |
| Ilustração 6.3 - Periodograma acumulado para as séries de meses idênticos .....  | 93  |
| Ilustração 6.4 – Estimativa espectral para as séries de meses idênticos .....  | 95  |
| Ilustração 6.5 – Estimativa de $\lambda$ para a série completa .....   | 97  |
| Ilustração 6.6 – Funções de auto-correlação e auto-correlação parcial para a série completa<br>- transformada e diferenciada ..... | 99  |
| Ilustração 6.7 – Análise dos resíduos para os modelos ajustados .....  | 100 |
| Ilustração 7.1 – Histograma de índices MAPE e ajuste a uma distribuição normal .....   | 109 |

## 1. INTRODUÇÃO

A capacidade de geração de energia elétrica brasileira é fortemente influenciada pelas usinas hidrelétricas que estão em operação no país. De acordo com dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), a energia proveniente de geração hidrelétrica representou aproximadamente 71,8% de toda a energia produzida no Brasil em 2018. Esses dados podem ser verificados na Tabela 1.1 abaixo.

Tabela 1.1 - Energia produzida no Brasil em 2018 por fonte energética

| Energia [GWh] | Hidráulica | Térmica   | Nuclear   | Solar    | Eólica    |
|---------------|------------|-----------|-----------|----------|-----------|
| 2018          | 417.934,00 | 96.954,00 | 15.674,00 | 2.917,00 | 48.443,00 |
| Participação  | 71,8%      | 16,7%     | 2,7%      | 0,5%     | 8,3%      |

Fonte: Elaborado pelo autor. Dados disponíveis em [www.ons.org.br](http://www.ons.org.br), acesso em 30/10/2019.

No âmbito do Sistema Interligado Nacional (SIN), o planejamento da operação do sistema hidrotérmico brasileiro ocorre de tal forma que a demanda seja atendida ao menor custo da energia gerada. A capacidade de geração futura do sistema é basicamente determinada pelas afluições naturais hidrológicas futuras, que possuem uma natureza intrinsecamente aleatória. Assim, a obtenção de previsão de vazões naturais é importante para que os modelos de simulação energética do SIN possam avaliar as condições operacionais futuras das hidrelétricas.

“Vazões naturais afluentes de um determinado aproveitamento são aquelas que ocorreriam em uma seção do rio caso não houvesse a operação de reservatórios a montante, nem a vazão evaporada pelos lagos artificiais, nem mesmo a retirada da água consumida com abastecimento e irrigação a montante. Em síntese, são as vazões providas pela própria natureza” (ONS, 2011)

Tendo em vista que a capacidade de geração futura é basicamente determinada pelas afluições futuras, o ONS elabora periodicamente, conjuntamente com os agentes de geração, as previsões de vazões naturais médias diárias, semanal e mensal e também realiza o cálculo da energia natural afluente (ENA) semanal e mensal para todos os aproveitamentos do SIN. Estas informações são consolidadas no Relatório Anual de Avaliação das Previsões de Vazão e disponibilizadas pelo ONS no seu sítio na *internet*. Além do planejamento energético do SIN, as previsões de vazões permitem antecipar cheias nos reservatórios, minimizando os riscos de operação nas barragens.

Inicialmente o ONS utilizava o programa CPINS para a previsão de vazões na bacia do rio São Francisco (trecho incremental entre a UHE Três Marias/Queimado e a UHE Sobradinho) e o modelo estocástico *Previvaz* para as demais bacias. Com o intuito de melhorar a qualidade das previsões, desde janeiro de 2006 o operador tem buscado usar modelos que incorporem informações de precipitação de chuvas observada e prevista ao processo de previsão de vazões, dessa forma são vários os modelos de previsão que hoje tem sido utilizados no SIN, como será descrito no capítulo 3. Entretanto, o Relatório Anual de Previsão de Vazões de 2015 mostra que o modelo *Previvaz*, combinado com modelos híbridos, é utilizado para a previsão de vazões semanais em praticamente todas as bacias presentes no documento. Já o modelo estocástico *PrevivazM* aparece isoladamente para realizar as previsões mensais de vazões de todas as bacias hidrológicas analisadas.

Consultando o documento ONS (2016) temos que as previsões mensais são realizadas utilizando o Modelo de Previsão de Vazões Mensais (PREVIVAZM), que fornece previsões de até 12 (doze) meses à frente. Este modelo analisa a série histórica de vazões mensais e escolhe, para cada mês, um modelo estocástico que melhor represente a série mensal. Dessa forma a previsão é feita por um conjunto de 12 (doze) modelos estocásticos que permitirão realizar a previsão um passo à frente para cada mês, perfazendo, assim, todos os meses do ano.

O modelo base de Previsão de Vazões Semanais (*Previvaz*) pode prever até 6 (seis) semanas à frente e utiliza o histórico das vazões naturais médias semanais. Este modelo analisa a série histórica de vazões semanais e escolhe, para cada semana, um modelo estocástico que melhor represente a série semanal.

No curtíssimo prazo são feitas previsões diárias de vazões, para isso são utilizados o histórico diário e os modelos físicos e determinísticos baseados na relação entre chuva / vazão e modelos estocásticos. O modelo de previsão de vazões Diárias (PREVIVAZH) permite obter previsões para até 14 (quatorze) dias à frente.

No âmbito da geração distribuída, o advento da resolução ANEEL 482/2012 e sua modificação com a resolução ANEEL 687/2015, passa a ser possível que mini-centrais hidrelétricas participem do chamado mecanismo de compensação de energia elétrica na rede da concessionária de distribuição, onde a energia gerada pela central poderá ser utilizada para autoconsumo, no caso de o gerador consumir toda a produção energética, ou até mesmo compartilhada com outra unidade consumidora, no caso de o gerador consumir menos que a energia total gerada. Também existe a

possibilidade da formação de consórcios, onde a energia gerada poderá ser dividida entre as unidades consumidoras consorciadas. O mecanismo de compensação de energia trouxe viabilidade econômica a pequenos aproveitamentos hidrelétricos, devido principalmente ao valor da energia pago pelos consumidores finais e pelas isenções tributárias sobre a energia injetada para compensação.

A previsão de vazões e o cálculo da energia natural afluyente (ENA) também são importantes para as mini-centrais hidrelétricas, sendo que basicamente temos três situações a considerar:

- a) Como a maioria dessas centrais é a fio d'água, a previsão das vazões permite a programação da manutenção dos equipamentos, principalmente nos períodos de estiagens.
- b) A previsão da quantidade de energia gerada pela mini-central mensalmente permite realizar a gestão energética nas unidades consumidoras que utilizarão essa energia através do mecanismo de compensação de energia.
- c) A energia natural afluyente (ENA) prevista mensalmente para mini-centrais, com o horizonte de 1 (um) ano à frente, auxilia nas decisões de investimento quanto à construção, ampliação e modernização dessas centrais geradoras.

## 1.1 OBJETIVOS DA PESQUISA

### 1.1.1 OBJETIVO PRINCIPAL

O objetivo desta pesquisa foi identificar modelos estocásticos ARIMA (Modelo Auto-regressivo Integrado de Médias Móveis) que forneçam previsões de vazões mensais no médio prazo (anual) e no curto prazo (mensal) para uma mini-central hidrelétrica com possibilidade de reativação.

### 1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- a) Obter dados históricos de vazões para a bacia hidrográfica estudada utilizando a técnica de transposição de vazões, haja vista que não existem postos fluviométricos no rio em estudo.
- b) Identificar e avaliar a capacidade de previsão de modelos estocásticos ARIMA utilizando a metodologia *Box-Jenkins*.
- c) Determinar o potencial hidráulico do aproveitamento a ser reativado, realizando o estudo de motorização.
- d) Realizar as previsões de vazões mensais para um ano à frente na bacia estudada e prever a energia anual natural afluyente (ENA) para o aproveitamento.

### 1.1.3 JUSTIFICATIVA

Justifica-se a presente dissertação com a identificação e aplicação do melhor modelo de previsão de vazões às minicentrals hidrelétricas, o que permite a otimização do planejamento da energia gerada por estes aproveitamentos. A previsão da energia a ser gerada e sua consequente injeção na rede elétrica de distribuição atende aos requisitos da resolução ANEEL 687/2015.

## 1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Os capítulos desta dissertação estão organizados da seguinte forma:

No capítulo 2 será apresentada a revisão bibliográfica sobre a pesquisa, compreendendo os principais trabalhos realizados na área de previsão de vazões, como também a teoria básica para a análise de séries temporais, hidrologia, motorização de centrais e modelos ARIMA.

No capítulo 3 serão apresentados os modelos base de previsão de vazões naturais e energia natural do Sistema Elétrico Brasileiro, bem como sua aplicabilidade.

O capítulo 4 mostrará como foi realizado o levantamento de dados para a bacia hidrográfica estudada, bem como o estudo hidrológico realizado com estes dados.

O capítulo 5 tem como objetivo realizar o estudo energético do aproveitamento em análise, definindo quedas, rendimentos e tecnologia a ser empregada na motorização proposta.

O capítulo 6 descreve os procedimentos utilizados para a identificação dos modelos tentativos ARIMA para a realização da previsão de vazões.

O capítulo 7 realiza a avaliação dos modelos identificados e seleciona os modelos que apresentam melhores resultados de previsão. Também é realizada uma comparação da capacidade de previsão dos modelos selecionados com desenvolvidos em demais trabalhos já publicados.

No capítulo 8 são realizadas a previsão anual de vazões e a previsão anual de energia natural afluyente (ENA) para a mini-central hidrelétrica a ser reativada.

O capítulo 9 discorre sobre as conclusões do trabalho e traça perspectivas futuras que poderão ser desenvolvidas.

Finalmente, temos as referências bibliográficas e os apêndices deste trabalho.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA PRINCIPAL

A humanidade, desde os primórdios, buscou sempre observar o comportamento das variáveis hidrológicas, tais como vazão e níveis de curso d'água. O desenvolvimento científico permitiu o registro e o acúmulo dessas informações, formando séries temporais, as quais são analisadas utilizando a estatística como uma ferramenta básica e fundamental (Naghetini et al, 2007).

A variável hidrológica vazão estudada neste trabalho (vazão natural) possui uma natureza essencialmente estocástica, sendo que ela pode ser avaliada apenas com esta abordagem, como também como uma abordagem com conteúdo determinístico e estocástico. Vários são os trabalhos desenvolvidos na área de previsão de vazões, com diferentes abordagens, os quais também trazem diferentes resultados de previsão.

Temos a seguir, um breve resumo dos trabalhos de previsão de vazões levantados, como também um referencial teórico da abordagem de previsão que foi utilizado nesta dissertação.

### 2.1 TRABALHOS REALIZADOS

Ao longo dos anos diversos trabalhos foram realizados para melhorar as previsões estocásticas do modelo PREVIVAZ do ONS. Inicialmente os modelos combinavam a utilização de modelos chuva-vazão, técnicas estocásticas e redes neurais artificiais. **Seguem os trabalhos pioneiros desenvolvidos e que foram apresentados no Workshop de Previsões organizado pelo ONS em 2007.**

Cataldi et al (2007) buscou melhorar as previsões estocásticas do modelo PREVIVAZ do ONS. Foram aplicadas ao modelo a técnica de mineração de dados e de Redes Neurais (treinamento bayesiano) utilizando informação de precipitações observada e prevista, além das vazões naturais verificadas nas últimas semanas. O estudo foi realizado para os aproveitamentos hidrelétricos de Foz do Areia e Salto Santiago, ambos localizados na bacia do rio Iguaçu. Com esta técnica foi obtida uma melhora de quase 80% nas previsões, sendo que parte dos resultados do trabalho está resumido na tabela abaixo, com os erros percentuais médios absolutos obtidos.

Tabela 2.1 – MAPE(%) das previsões com Mineração de Dados

| UHE            | ANO  | Previvaz (%) | Previvaz com Mineração de Dados (%) |
|----------------|------|--------------|-------------------------------------|
| Foz do areia   | 2002 | 35,7         | 31,1                                |
| Foz do areia   | 2003 | 63,3         | 38,1                                |
| Salto Santiago | 2002 | 40,1         | 30,5                                |
| Salto Santiago | 2003 | 37,0         | 24,1                                |

Fonte: Cataldi et al (2007)

O trabalho de Guilhon et al (2007) buscou realizar a comparação entre diversos métodos de previsão de vazões naturais afluentes para aproveitamentos hidrelétricos do SIN. Segundo este trabalho o modelo PREVIVAZ do ONS produziu previsões com erro percentual médio absoluto (MAPE) variando de 12% a 68% para o intervalo compreendido entre os anos de 1997 a 2004. Isto pode ser visto na tabela abaixo:

Tabela 2.2- MAPE(%) das previsões com Previvaz (1997 a 2004)

| Usina      | MAPE (%) | Usina        | MAPE (%) |
|------------|----------|--------------|----------|
| Tucuruí    | 12,3     | Paraibuna    | 28,6     |
| Itaipu     | 15,5     | Três Marias  | 35,3     |
| S. Simão   | 18,4     | S. Mesa      | 35,4     |
| Marimbondo | 20,9     | Foz do Areia | 38       |
| S. Grande  | 21,6     | Passo Real   | 42       |
| Furnas     | 27,9     | Itá          | 67,6     |

Fonte: Guilhon et al (2007)

Ainda Guilhon et al (2007) desenvolveu um projeto para realizar a comparação de alguns métodos de previsão de vazões naturais afluentes, assim foram selecionados 6 (seis) métodos para comparação entre si e comparação com o modelo *Previvaz*. Os métodos foram:

Modelo Multiplayer Perceptron (MLP) – Um modelo desenvolvido pela PUC-Rio somente para a bacia do rio Iguaçu e que utiliza técnicas de Inteligência Artificial baseadas em Redes Neurais Artificiais.

Modelo de Regressão Dinâmica – Um modelo desenvolvido pela PUC-Rio para as bacias dos rios Paranaíba e Paraná e que utiliza técnicas Estocásticas de Regressão Dinâmica.

Modelo Fuzzy Recorrente – Um modelo híbrido desenvolvido pela UFF e UFRJ e que utiliza Técnicas de Mineração de Dados, com o emprego de Cubo OLAP, conjuntamente com Modelos de Inteligência Artificial baseados em algoritmos Fuzzy Recorrentes.

Modelo SMAP – Modelo Físico Concentrado SMAP (Lopes, 1999; Lopes et al, 1982) utilizado pelo LACTEC/PR.

Modelo SMAP-MEL – Uma solução com modelo híbrido utilizando uma combinação do Modelo Físico Concentrado SMAP e do Modelo Estocástico Multivariado MEL, ambos desenvolvidos pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica da USP.

Modelo MGB-IPH – Um modelo Físico Distribuído, complementado com um Modelo Estocástico de Correção da Previsão, e que foi desenvolvido pela Rhama Consultoria Ambiental Ltda

Os resultados da comparação estão consolidados na tabela a seguir, que mostra que os demais métodos apresentaram uma evolução sobre o modelo PREVIVAZ

Tabela 2.3- MAPE(%) com diferentes métodos de previsão (jan/2002 a dez/2003)

| Bacia/Usina      | Previvaz - MAPE (%) | Método  | MAPE (%) |
|------------------|---------------------|---------|----------|
| Paranaíba        | 16,15               | MGB/IPH | 10,82    |
| Paraná           | 28,37               | MGB/IPH | 19,28    |
| UHE Foz do Areia | 40,68               | MLP     | 35,64    |
| UHE Jordao       | 43,81               | MLP     | 32,88    |
| UHE Osorio       | 46,88               | SMAP    | 31,15    |

Fonte: Guilhon et al (2007)

Neto et al (2007) realizou a calibração do modelo hidrológico dinâmico 3R, que é uma versão simplificada do modelo Sacramento desenvolvido pelo Serviço Meteorológico Norte Americano. O modelo calibrado utilizou dados de vazões naturais afluentes e dados de precipitação, sendo aplicado na bacia do Rio Ivaí, que possui 36.587km<sup>2</sup> e que foi dividida em 4 sub-bacias para a estudo. A comparação das vazões previstas de um dia com as vazões observadas foi feita com o levantamento do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) entre elas.

Em continuidade a este trabalho, foram realizadas previsões para as mesmas 4 sub-bacias com a incorporação de um estimador de estados dinâmico-estocástico (Neto et al, 2007). O estimador utilizado foi fundamentado na implementação do filtro de Kalman Estendido (estocástico) para o modelo hidrológico 3R (dinâmico). O resultado das previsões de um dia está resumido na tabela abaixo.

Tabela 2.4- Correlação adimensional entre vazões observadas e vazões previstas

| <b>Sub-Bacia</b>       | <b>R<sup>2</sup> sem Estimador</b> | <b>R<sup>2</sup> com Estimador</b> |
|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Tereza Cristina        | 0,669                              | 0,81                               |
| Ubá do Sul             | 0,84                               | 0,921                              |
| Porto Paraíso do Norte | 0,914                              | 0,961                              |
| Novo Porto Taquara     | 0,976                              | 0,984                              |

Fonte: Neto et al (2006)

Segundo Costa et al (2007), o planejamento da operação do sistema hidrotérmico interligado brasileiro, devido a sua complexidade, é atualmente feito em etapas com o auxílio da cadeia de modelos desenvolvidos no Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL. Os modelos desenvolvidos pelo CEPEL e o horizonte de planejamento de cada um deles estão na tabela abaixo.

Tabela 2.5 – Modelos de previsão desenvolvidos pelo CEPEL

| <b>Etapa</b>                     | <b>Médio Prazo</b> | <b>Curto Prazo</b>           | <b>Programação da Operação</b> |
|----------------------------------|--------------------|------------------------------|--------------------------------|
| <b>Modelo Hidrológico</b>        | GEVAZP             | PREVIVAZ / GEVAZP            | PREVIVAZH                      |
| <b>Modelo de Otimização</b>      | NEWAVE             | DECOMP                       | DESSEM                         |
| <b>Horizonte de planejamento</b> | Até 10 anos        | Até 1 ano                    | Até 14 dias                    |
| <b>Discretização temporal</b>    | Mensal             | Semanal / Mensal             | Horária / patamares            |
| <b>Afluências hidrológicas</b>   | Estocástico        | Determinístico / Estocástico | Determinístico                 |

Fonte: Costa et al (2007)

O modelo PREVIVAZM tem como objetivo fornecer previsões mensais de afluências para os aproveitamentos hidrelétricos do Sistema Hidrelétrico Brasileiro no horizonte de até 12 meses, sendo uma ferramenta de estudos especiais para verificar as condições de atendimento da demanda energética no horizonte anual.

Ainda Costa et al (2007) realizou previsões com o modelo PREVIVAZM no aproveitamento de Itaipu para os meses entre janeiro de 2000 e dezembro de 2002. A tabela abaixo mostra o resultado dessa previsão com até 12 meses (passos) à frente.

Tabela 2.6 – MAPE(%) para o aproveitamento de Itaipu

| <b>Itaipu</b>      | <b>MAPE (%)</b> | <b>MAPE (%)</b> | <b>MAPE (%)</b> |
|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Meses Antecedência | 2000            | 2001            | 2002            |
| 1                  | 18              | 8               | 21              |
| 2                  | 21              | 12              | 19              |

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| 3  | 21 | 13 | 15 |
| 4  | 21 | 15 | 16 |
| 5  | 19 | 13 | 22 |
| 6  | 17 | 14 | 18 |
| 7  | 20 | 12 | 14 |
| 8  | 22 | 10 | 18 |
| 9  | 26 | 10 | 18 |
| 10 | 19 | 9  | 16 |
| 11 | 21 | 8  | 15 |
| 12 | 22 | 8  | 15 |

Fonte: Costa et al (2007)

*“Os modelos de previsão utilizados pelo ONS são, em geral, estocásticos e não consideram informações de precipitação, contudo o ONS busca desenvolver novos modelos de previsão incluindo dados de precipitação observada e prevista.”*  
(Cruz et al, 2007)

Cruz et al (2007) também desenvolveu um modelo que empregou redes neurais artificiais e considerou chuva observada e prevista (modelo ETA do CPTEC). Este modelo apresentou desempenho superior aos modelos estatísticos e as previsões foram realizadas para três sub-bacias do rio Iguaçu, compreendendo Foz do areia, Jordão e Salto Osório. A tabela abaixo mostra a comparação entre modelos estatísticos e redes neurais para previsões de 1 (uma) semana a frente.

Tabela 2.7- MAPE(%) para previsões de 1 (uma) semana a frente

| <b>Sub-Bacia / MAPE (%)</b> | <b>Mod. Estatístico</b> | <b>Rede Neural</b> |
|-----------------------------|-------------------------|--------------------|
| Foz do Areia                | 32,8                    | 20,39              |
| Jordão                      | 30,3                    | 22,71              |
| Salto Osório                | 47,1                    | 30,35              |

Fonte: Cruz et al (2007)

Chiari et al (2007) aplicou o modelo de simulação hidrológica Rio Grande na bacia do Rio Paranaíba entre as UHEs Itumbiara e São Simão. O modelo Rio Grande é fruto de uma contratação do Departamento de Engenharia Hidráulica e de Recursos Hídricos da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais pela CEMIG. Os dados utilizados no modelo foram vazão, precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, pressão atmosférica e radiação solar. Os resultados das previsões das vazões naturais médias mensais obtidas com o modelo constam na tabela abaixo.

Tabela 2.8 – MAPE(%) para previsões na bacia do Rio Paranaíba

| <b>Período</b>             | <b>MAPE (%)</b> |
|----------------------------|-----------------|
| 1981 a 1990                | 7,10            |
| Estação seca 1981 a 1990   | 15,7            |
| Estação úmida 1981 a 1990  | 15,7            |
| Ano mais seco - 1981       | 8,3             |
| Ano mais úmido - 1981/1982 | 17,1            |

Fonte: Chiarria et al (2007)

Paiva (2007) apresentou o modelo CPINS, atualmente utilizado pelo setor elétrico, para realizar a previsão de vazões afluentes diárias do reservatório de Sobradinho. Este modelo utiliza a rotina de propagação SSARR (*Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation*), que é uma rotina conceitual empírica. O resultado de previsões semanais com 1 semana de antecedência para o reservatório pode ser visto abaixo.

Tabela 2.9- MAPE(%) para previsões de Sobradinho utilizando modelo CPINS

| <b>Período</b> | <b>MAPE (%)</b> |
|----------------|-----------------|
| 1979           | 3,38%           |
| 1980           | 6,21%           |
| 1983           | 2,85%           |
| 1992           | 3,75%           |

Fonte: Chiari et al (2007)

A bacia do rio Iguaçu foi novamente objeto de análise por Kaviski (2007) no trecho a montante da UHE Salto Osório. A previsão de vazões foi feita com o modelo determinístico chuva-vazão SMAP utilizando a previsão quantitativa de chuva fornecida pelo modelo ETA-CPTEC. A bacia foi dividida em trechos e os dados utilizados foram de 1996 a 2001 para realizar previsões num horizonte de 1 a 12 dias à frente. O resultado dos erros para as previsões com até 12 dias utilizando precipitação observada consta na tabela abaixo.

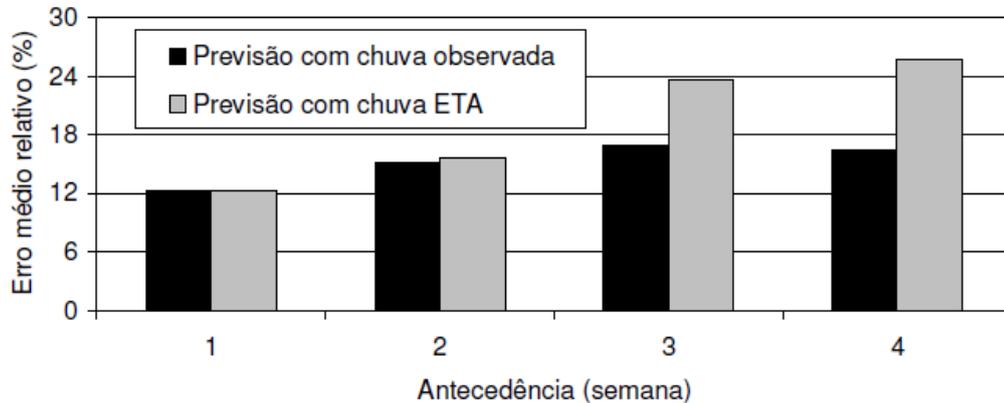
Tabela 2.10- MAPE(%) das previsões da UHE Salto Osório com modelo SMAP

| <b>Dias a Frente</b> | <b>MAPE (%)</b> | <b>Dias a Frente</b> | <b>MAPE (%)</b> |
|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
| 1                    | 13              | 7                    | 25              |
| 2                    | 18              | 8                    | 25              |
| 3                    | 20              | 9                    | 26              |
| 4                    | 21              | 10                   | 27              |
| 5                    | 23              | 11                   | 28              |
| 6                    | 24              | 12                   | 29              |

Fonte: Kaviski (2007)

E, por último, Silva (2007) utilizou o modelo regional de tempo ETA conjuntamente com o modelo precipitação-vazão distribuído MGB-IPH para realizar previsão de vazões no curto prazo. O modelo conjunto foi ajustado à bacia do rio São Francisco (639.000 km<sup>2</sup>) para realizar previsões de até quatro semanas à frente na Usina de Sobradinho, neste caso foram utilizadas previsões de precipitações do modelo ETA com alcance de 10 dias à frente. A tabela abaixo mostra o resultado do MAPE para as previsões no reservatório de Sobradinho. Nota-se que o MAPE é superior a 24% para a previsão mensal, mesmo utilizando o modelo ETA e as suas previsões de precipitação.

Ilustração 2.1 - MAPE(%) das previsões em Sobradinho com modelo MGB-IPH



Fonte: Silva (2007)

**Atualmente são diversos os trabalhos de previsão de vazões desenvolvidos, com variadas técnicas e resultados diferentes. Alguns deles estão listados abaixo:**

Pereira (2015) buscou avaliar as vazões resultantes da execução de um modelo chuva-vazão baseado em “tanques”, denominado *Tank Model*, para duas séries históricas de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Manoel Alves da Natividade, localizada no Estado de Tocantins. Os resultados mostraram que as vazões simuladas estavam mais ajustadas às vazões observadas para dados mensais do que para dados diários.

De acordo com Colombo (2016), o modelo *SWAT (Soil and Water Assessment Tool)* permite simular diferentes processos físicos em bacias hidrográficas, como evapotranspiração, infiltração, escoamento de água etc. Este modelo foi utilizado para avaliar a estimativa de vazões mensais na Bacia Hidrográfica do Rio Capivari, localizada no sul de Santa Catarina, no período de um ano (1987-1988). As vazões médias mensais simuladas foram comparadas com as vazões

médias mensais observadas utilizando o índice de *Nash Sutcliffe* (NSE) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Os valores obtidos para estes índices foram de 0,49 e 0,89 respectivamente.

Santos (2016) realizou a modelagem da série temporal de médias mensais da variável vazão afluente utilizando modelos estocásticos do grupo SARIMA. Os dados foram coletados de agosto de 2002 a agosto de 2012 na Usina Hidrelétrica de Tucuruí. Diversos modelos tentativos foram avaliados, sendo que o modelo SARIMA (0,0,2)(1,2,2)<sub>12</sub> com coeficiente de *Nash-Sutcliffe* de 0,9150 foi o que melhor se ajustou à série histórica de dados.

Oliveira (2016) utilizou o Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH) para a simulação da previsão de disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Alto Teles Pires, localizada em terras do Estado do Mato Grosso. A validação do modelo se deu por meio do coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) calculado na fase inicial e após a calibração do modelo, sendo que os valores obtidos foram 0,82 e 0,76 respectivamente. Como os valores de NS foram superiores a 0,75, isto significa que o modelo teve um bom desempenho.

Figueiredo (2016) realizou um estudo de caso para a bacia do rio Tapajós, com modelos chuva-vazão baseados em arquiteturas RNA (Redes Neurais Artificiais). Foram testadas 20 RNA do tipo *Multiplayer Perceptron* (MLP) com algoritmo *backpropagation* (MLP-BP). A RNA que melhor realizou as previsões obteve  $R^2$  de 0,97, considerando o modelo satisfatório.

Fan (2015) construiu previsões de vazões de curto e médio prazo por *ensemble*, ou por conjunto, que é uma técnica que procura explorar as incertezas associadas às condições iniciais presentes na estrutura dos modelos meteorológicos. Três bacias foram selecionadas para a realização das previsões, foram elas Alto São Francisco, Doce e Tocantins. O modelo hidrológico MGB-IPH foi aplicado com a utilização de dados de chuva provenientes de três diferentes sistemas de previsão hidrológica por *ensemble* (ECMWF-pf, GEFS e CPTEC-pf).

Ramos (2015) analisou a incerteza no processo de previsão e no processo de tomada de decisão utilizando previsões probabilísticas, as quais foram obtidas em conjunto (ou por *ensemble*). Nesta modalidade de previsão foram gerados diversos cenários futuros possíveis com o objetivo de quantificar as incertezas no processo de geração das previsões. O trabalho apresentou o resultado de um jogo que ora utilizou e ora não utilizou informações de previsões probabilísticas.

Y. Bai et al (2018) utilizou aproximação por *Cluster Deep Fusion* (CDF) para prever as vazões entrantes no reservatório da hidrelétrica das Três Gargantas, na China. A técnica CFD apresentou MAPE de 6,174% para as vazões previstas, o que foi um resultado superior a outras técnicas de previsão utilizadas no mesmo artigo.

V.A.R. Lopes et al (2018) utilizou o Modelo de Grandes Bacias (MGB-IPH) como modelo único para simular hidrogramas, áreas inundadas e níveis de água na bacia da lagoa de Patos, localizada no Brasil e Uruguai. A inclusão de dados de vento ao modelo melhorou consideravelmente os resultados.

Existem diversos outros trabalhos que utilizaram a previsão por conjunto (*ensemble*), inclusive para as grandes bacias da América do Sul. A previsão por *ensemble* é considerada o estado-da-arte na previsão de vazões.

## **2.2 METODOLOGIA DE BOX-JENKINS**

Segundo (West et al, 1997), um modelo é uma descrição simplificada de um sistema que auxilia nos cálculos das previsões. No sentido amplo um modelo é um esquema descritivo, explanatório, que organiza informações e experiências provendo um meio para aprender e realizar previsões. A razão precípua de modelar é desenvolver processos de aprendizado eficientes para se tomar decisões adequadas.

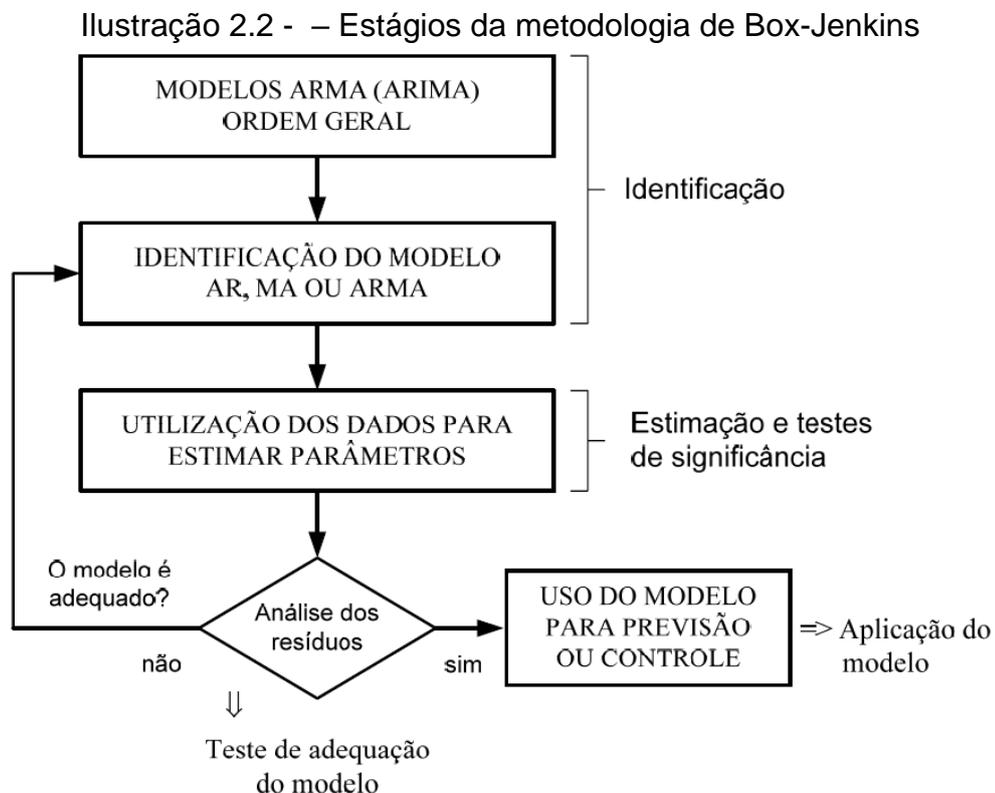
Os modelos estocásticos possibilitam modelar uma série temporal usando a combinação de diversos componentes, como tendência, sazonalidade e componente regressiva. A estrutura probabilística do modelo permite aplicá-lo às diversas áreas do conhecimento, podendo ser usado em séries temporais univariadas e multivariadas, como também usado na presença de mudanças estruturais não estacionárias e padrões irregulares.

A metodologia de *Box-Jenkins* é excelente para realizar previsões de curto prazo e baseia-se no ajuste de modelos tentativos denominados ARIMA às séries temporais de valores observados. A diferença entre os valores gerados pelos modelos e os valores observados resulta em uma série temporal de resíduos com comportamento aleatório em torno de zero.

Os modelos ARIMA são capazes de descrever os processos de geração de uma variedade de séries temporais, sem levar em conta as relações que geraram essas séries.

Estes mesmos modelos podem descrever tanto o comportamento estacionário como não-estacionário de uma série temporal, o que torna a metodologia bastante flexível, ainda mais com a possibilidade de utilização de valores correntes e de valores passados para realizar previsões.

Para a aplicação da metodologia *Box-Jenkins*, é necessário seguir estágios para a identificação dos modelos tentativos, estimação de parâmetros e teste da adequação do modelo proposto aos dados. A figura abaixo ilustra os estágios da metodologia.



Fonte: Netto (2016)

### 2.2.1 SÉRIES TEMPORAIS

Segundo Bezerra (2006), uma série temporal é qualquer conjunto de observações ordenadas no tempo, que podem ser discretas ou contínuas. Uma série discreta pode ser obtida a partir da amostragem de uma série temporal contínua considerando intervalos de tempos iguais.

Existem dois enfoques utilizados para a análise de séries temporais, em ambos o objetivo é construir modelos para estas séries. O primeiro enfoque é feito no domínio do tempo, para tanto são propostos modelos paramétricos com um número

finito de parâmetros. O segundo enfoque é conduzido no domínio da frequência e utiliza modelos não paramétricos. Neste trabalho o enfoque adotado foi o domínio do tempo com a utilização dos modelos ARIMA.

De acordo com Lino (2014), num modelo clássico, todas as séries temporais podem ser decompostas em quatro componentes, são elas:

- Tendência ( $T$ ), que é o comportamento de longo prazo da série, reunindo aspectos que afetam a variável de interesse no longo prazo.
- Variações Cíclicas ( $C$ ), que são flutuações nos valores da variável com duração superior a um ano e que se repetem com certa periodicidade.
- Variações Sazonais ( $S$ ), que são flutuações nos valores da variável com duração inferior a um ano e que se repetem todos os anos.
- Variações Irregulares ( $I$ ), que são flutuações resultantes de fatos fortuitos e inesperados.

Assim, uma série temporal pode ser descrita pela seguinte equação 2.1.

$$\text{Equação 2.1: } Y = T + C + S + I$$

É possível modelar qualquer série temporal com a utilização das componentes do modelo clássico descrito acima. Para isto é feita a identificação de cada uma das componentes da série temporal e, em seguida, a composição das componentes.

“Uma série temporal é estacionária quando ela se desenvolve aleatoriamente, no tempo, em torno de uma média constante, refletindo alguma forma de equilíbrio estável” (Bezzerra, 2006, pg. 6).

O equilíbrio estatístico ou estabilidade de uma série temporal estacionária implica em uma média constante. Segundo (Montgomery et al, 2008), dada uma série,  $y_{t+k}, y_{t+k+1}, y_{t+k+n}$  quando  $n = 0$ , a estacionariedade garante que a distribuição de probabilidade de  $y_{t+k}$  é a mesma para todos os períodos e pode ser escrita como  $f(y)$ .

A média constante de uma série  $y_t$  é definida como:

$$\text{Equação 2.2: } \mu(t) = E(y) = \int_{-\infty}^{\infty} yf(y) dy$$

E a variância constante de uma série  $y_t$  é definida como:

$$\text{Equação 2.3: } \sigma_y^2 = \text{Var}(y) = \int_{-\infty}^{\infty} (y - \mu_y)^2 f(y) dy$$

Para um conjunto amostral da mesma série  $y_t$ , podemos definir respectivamente a média amostral e a variância amostral como segue abaixo:

$$\text{Equação 2.4: } \bar{y} = \bar{\mu}_y = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T y_t$$

$$\text{Equação 2.5: } s^2 = \bar{\sigma}_y^2 = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (y_t - \bar{y})^2$$

A classe dos modelos ARIMA é capaz de descrever de maneira satisfatória séries temporais estacionárias e não-estacionárias.

### 2.2.2 PROCESSOS ESTOCÁSTICOS

Uma variável aleatória que é uma função do tempo é chamada de um processo estocástico, Ynoguti (2011). Um evento aleatório é repetido com periodicidade de tempo pré-definida, sendo que o resultado da variável aleatória estará dentre uma coleção de resultados possíveis denominada amostra.

Os processos estocásticos podem ser classificados em termos dos valores que eles podem assumir, neste caso podem ser discretos ou contínuos. Um processo é considerado discreto quando possui um conjunto com um número inteiro de instantes de tempo, caso contrário é um processo contínuo.

As médias estatísticas de um processo aleatório são as médias estatísticas da sua função amostra, que por sua vez são utilizadas para caracterizar o processo aleatório. A função de densidade de probabilidade de primeira ordem é uma estatística de primeira ordem, entretanto não é capaz especificar completamente um processo estocástico, visto que não é capaz de identificar a frequência das ocorrências em um processo. Dessa forma outras estatísticas são necessárias para caracterizar o processo estocástico, são elas:

- Função de Autocorrelação

A função de autocorrelação, quando tomada em dois instantes diferentes  $t_1$  e  $t_2$ , mede a similaridade entre as amplitudes de duas funções amostra, o que permite utilizá-la para caracterizar o conteúdo de frequências de um processo estocástico. De acordo com Ynoguti (2011), a função de autocorrelação pode ser definida como:

Definição 2.1: Se as variáveis aleatórias  $X(t_1)$  e  $X(t_2)$  são denotadas por  $X_1$  e  $X_2$  respectivamente, então para um processo estocástico real, a função de autocorrelação  $R_x(t_1, t_2)$  é definida como  $R_x(t_1, t_2) = E[X(t_1)X(t_2)]$ .

Onde  $E[X(t_1)X(t_2)]$  é a média do produto de uma função amostra.

- Momento

O primeiro momento é chamado de média de um processo estocástico, e é definido como:

Definição 2.2: A média  $E[X(t)]$  de um processo estocástico pode ser determinada da função de densidade de primeira ordem usando a seguinte expressão:

$$E[X(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x, t)dx$$

- Função de Autocovariância

É a autocorrelação de duas variáveis aleatórias menos o produto de suas médias.

Definição 2.3: A função de autocovariância é definida como  $K_x(t_1, t_2) = E[(X(t_1) - m(t_1))(X(t_2) - m(t_2))] = R_x(t_1, t_2) - m(t_1)m(t_2)$  onde  $m(t_1)$  e  $m(t_2)$  são as médias de  $X(t_1)$  e  $X(t_2)$ , respectivamente.

Ainda Ynoguti (2011) classifica os processos estocásticos em estacionários e não estacionários. O processo estacionário é aquele nas quais as suas características estatísticas não variam com o tempo, dessa forma a função de densidade de primeira ordem deste processo pode ser expressa como:

Equação 2.6:  $f_x(x, t) = f_x(x)$

De forma semelhante, a função de autocorrelação pode ser simplificada para:  $R_x(t_1, t_2) = R_x(t_1 - t_2) = R_x(\tau) = E[X(t)X(t + \tau)]$ , onde  $\tau = t_1 - t_2$ .

E a função de autocovariância pode ser simplificada para:  $K_x(t_1, t_2) = K_x(t_1 - t_2) = K_x(\tau) = R_x(\tau) - E^2[X]$

### 2.2.3 MODELOS PARA SÉRIES TEMPORAIS

Segundo Berreza (2006) podemos tornar uma série não-estacionária em uma série estacionária para posterior análise. O procedimento é o seguinte:

$$\text{Equação 2.7: } W_t = K_t - K_{t-1} = (1 - X)Z_t = \Delta Z_t$$

As séries  $Z_t$ , tais que, tomando-se um número finito de diferenças,  $d$ , tornam-se estacionárias, são chamadas não-estacionárias homogêneas. Se a série é estacionária, podemos representá-la por um modelo ARMA(p,q), ou seja:

$$\text{Equação 2.8: } \phi(X)W_t = \theta(X)a_t$$

Onde  $a_t$  é o ruído branco, que é uma sequência de variáveis aleatórias independentes, identicamente distribuídas  $\{a_t\}$ , estritamente estacionárias com média zero e variância  $\sigma_a^2$ .

Se  $W_t$  é uma diferença de  $Z_t$ , então  $Z_t$  é uma integral de  $W_t$ , daí dizemos que  $Z_t$  segue um modelo autoregressivo-integrado-médias-móveis, ou modelo ARIMA(p,d,q) descrito por:

$$\text{Equação 2.9: } \phi(X)\Delta^d Z_t = \theta(X)a_t$$

Com ordem (p,d,q), em que p e q são as ordens de  $\phi(X)$  e  $\theta(X)$ , respectivamente, um modelo ARIMA (p,d,q) que modela uma série temporal pode ser representado de três formas, a saber:

a) Forma de equação de diferenças, que utiliza termos dos valores prévios de  $Z_t$  e termos dos valores atuais e prévios de  $a_t$ ;

b) Forma de choques aleatórios, que utiliza termos dos valores atuais e prévios de  $a_t$ ;

c) Forma invertida, que utiliza termos dos valores prévios de  $Z_t$  e dos valores atuais de  $a_t$ ;

A forma da equação diferenças é útil para realização de cálculos de previsões para séries temporais. Essa forma é descrita por:

$$\text{Equação 2.10: } Z_t = \xi_1 z_{t-1} + \xi_2 z_{t-2} + \dots + \xi_{p+d} z_{t-p-d} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

$$\text{onde: } \xi(X) = 1 - \xi_1 X - \xi_2 X^2 - \dots - \xi_{p+d} X^{p+d}$$

A forma de choques aleatórios é conveniente para calcular a variância dos erros de previsão, e é descrita por:

$$\text{Equação 2.11: } Z_t = a_t + \psi_1 a_{t-1} + \psi_2 a_{t-2} + \dots = \psi(X) a_t$$

$$\text{onde: } \xi(X) Z_t = \xi(X) \psi(X) a_t$$

$$\text{logo: } \xi(X) \psi(X) = \theta(X)$$

A forma com termo constante descreve tendências estocásticas, no sentido em que o processo não é estacionário e que muda de nível ao decorrer do tempo. Ela é dada por:

$$\text{Equação 2.11: } \phi(X)(W_t - E(W_t)) = \theta(X) a_t$$

## 2.2.4 PREVISÃO COM MODELOS ARIMA

A forma de equação de diferenças de um modelo ARIMA(p,d,q) para a realização de previsões é descrita da seguinte forma:

$$\text{Equação 2.12: } Z_t = \xi_1 z_{t-1} + \xi_2 z_{t-2} + \dots + \xi_{p+d} z_{t-p-d} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

$$\text{onde: } \xi(X) = 1 - \xi_1 X - \xi_2 X^2 - \dots - \xi_{p+d} X^{p+d}$$

A previsão utilizando a equação de diferenças para o mesmo modelo ARIMA(p,d,q) é dada por:

$$\text{Equação 2.13: } \widehat{Z}_t(h) = \xi_1 z_{t+h-1} + \dots + \xi_{p+d} z_{t+h-p-d} - \theta_1 a_{t+h-1} - \dots - \theta_q a_{t+h-q} + a_{t+h}$$

ou

$$\text{Equação 2.14: } \widehat{Z}_t(h) = \sum_{i=1}^{p+d} \xi_i \widehat{Z}_t(h-1), h > q$$

E o erro de previsão para o mesmo modelo é dado por:

$$\text{Equação 2.15: } e_t(h) = \sum_{j=0}^{h-1} \psi_j a_{t+h-j}, h \geq 1$$

Com:

$$\text{Equação 2.16: } E[e_t(h)] = 0, h \geq 1$$

e

$$\text{Equação 2.17: } \text{Var}[e_t(h)] = \sigma_a^2 \sum_{j=0}^{h-1} \psi_j^2, h \geq 1$$

## 2.2.5 AVALIAÇÃO DE PREVISÕES

Para realizar a avaliação das previsões de vazões, é necessário que seja estabelecido um indicador que seja capaz de comparar o resultado de diversos modelos tentativos.

Segundo Montgomery (2008), os indicadores ME (*mean error*), MAD (*mean absolute deviation*), MSE (*mean square error*) e MAPE (*mean absolute percent forecast error*) podem ser utilizados para avaliação de acurácia de previsões de 1 (um) passo à frente.

Como o Relatório Anual de Avaliação das Previsões de Vazões – 2015 do ONS utiliza o indicador MAPE, também utilizaremos este indicador nesta dissertação. Isto permitirá comparar as previsões obtidas neste trabalho com as previsões elaboradas pelo ONS em diversas bacias hidrográficas. Podemos definir o indicador MAPE da seguinte forma:

$$\text{Equação 2.18: } MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{O_t - P_t}{O_t} \right|$$

Onde:

$n$  - número de intervalos de tempo

$O_t$  - vazão observada no intervalo de tempo  $t$

$P_t$  - vazão prevista no intervalo de tempo  $t$

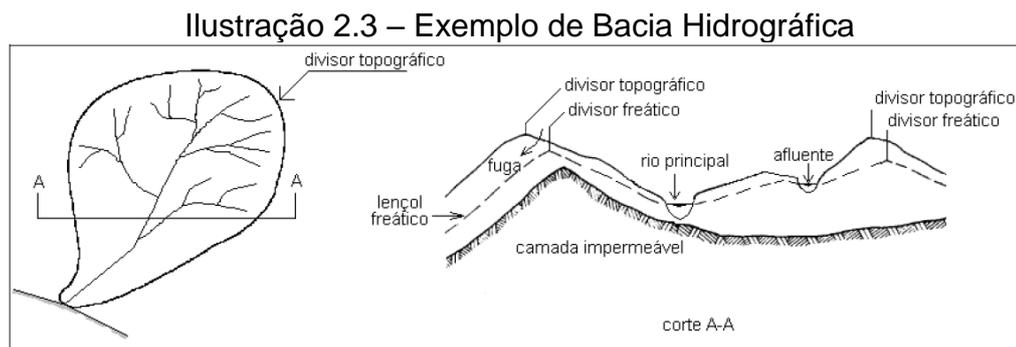
## 2.3 HIDROLOGIA

“A hidrologia aplicada à geração objetiva fornecer dados e métodos para os estudos energéticos, de segurança operativa e também para outros fins, tais como o sanitário e o ecológico, os quais são fundamentais para o dimensionamento de sistemas de baixa e alta pressão, grupos geradores, casa de máquinas, sistemas de transmissão, além da operação” Souza(2009).

Ainda Souza (2009) afirma que os estudos hidrológicos são sempre desenvolvidos levando-se em consideração o que ocorreu num período base e aceitando-se que este comportamento se repetirá em iguais períodos no futuro.

### 2.3.1 BACIA HIDROGRÁFICA

Souza (2013) define bacia hidrográfica como “*área continental limitada pela linha de cumeada em cujo interior a água precipitada se dirige para a seção considerada*”. Uma bacia é limitada pela linha de cumeada que a separa das bacias vizinhas, o que precisamente caracteriza a contribuição do escoamento superficial da bacia para a sua seção de fechamento. A ilustração abaixo exemplifica uma bacia hidrográfica.



Fonte: Júnior (2016)

De acordo com CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A(1999), vários aspectos fisiográficos da bacia auxiliam na interpretação dos resultados dos estudos hidrológicos e permitem estabelecer relações e comparações com outras bacias conhecidas. Esses aspectos têm influência direta no comportamento hidrometeorológico da bacia em estudo e, conseqüentemente, no regime fluvial e

sedimentológico do curso d'água principal. São aspectos fisiográficos de uma bacia hidrográfica:

- Área de Drenagem

A área de drenagem de uma bacia é a projeção em um plano horizontal da superfície contida entre seus divisores topográficos. É obtida através de planimetria clássica ou processos computacionais.

- Perímetro

É o comprimento linear da linha de contorno do limite da bacia, expresso geralmente em km.

- Forma da Bacia

O índice ou coeficiente de compacidade,  $K_c$ , é a relação entre o perímetro da bacia e o comprimento da circunferência de um círculo com área igual à da bacia, ou seja:

$$\text{Equação 2.18: } K_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}, \text{ onde:}$$

P - perímetro da bacia, em km.

A - área de drenagem da bacia, em km<sup>2</sup>.

Quanto mais próximo da unidade for o índice de compacidade, maior será a potencialidade de ocorrência de picos elevados de enchentes.

Fator de Forma,  $K_f$  é a relação entre a área da bacia hidrográfica e o quadrado de seu comprimento axial.

$$\text{Equação 2.19: } K_f = \frac{A}{L^2}, \text{ onde:}$$

L - comprimento axial da bacia, ou comprimento total do curso d'água principal, em km;

A - área de drenagem da bacia, em km<sup>2</sup>.

Para bacias de mesmo tamanho, aquela que possuir menor fator de forma será menos sujeita a enchentes.

- Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem,  $D_d$ , é a relação entre o comprimento total dos cursos d'água de uma bacia e a sua área total. Este índice fornece uma indicação da eficiência da drenagem.

Equação 2.20:  $D_d = \frac{L_T}{A}$ , onde:

$L_T$  - comprimento total dos cursos d'água da bacia, em km;

$A$  - área de drenagem da bacia, em km<sup>2</sup>.

Se a densidade de drenagem for superior a 3,5 km/km<sup>2</sup>, o deflúvio atingirá rapidamente o curso d'água principal e haverá picos de enchentes altos e deflúvios de estiagem baixos. A drenagem é considerada pobre quando este índice for inferior a 0,5 km/km<sup>2</sup>.

- Declividade do Rio

Quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento e os hidrogramas das enchentes serão mais pronunciados e estreitos.

Equação 2.21:  $S = \frac{H}{L}$ , onde:

$S$  - declividade média, em m/km;

$H$  - diferença entre a cota do ponto mais afastado e a cota do ponto considerado, em m;

$L$  - comprimento total do curso d'água principal, em m.

- Tempo de Concentração

O tempo de concentração mede o tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial numa seção considerada. Para o cálculo do tempo de concentração aplicada à geração, utiliza-se a fórmula do *Soil Conservation Service*:

Equação 2.22:  $t_c = 0,95 \cdot \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$ , onde:

$t_c$  - tempo de concentração, em horas;

$H$  - diferença entre cotas do ponto mais afastado e o considerado, em m;

$L$  - comprimento total do curso d'água principal, em km.

### 2.3.2 TRANSPOSIÇÃO DE VAZÕES

A transposição é uma técnica que permite transpor dados de uma bacia hidrográfica que possua dados de vazões registrados para uma bacia hidrográfica que não possua dados de vazões registrados. A base do princípio da transposição é que

bacias diferentes devem possuir vazões específicas iguais (Souza, 2009), neste caso as condições de homogeneidade precisam ser atendidas.

“A transposição de vazões é uma técnica adotada nos estudos hidrológicos quando não se dispõem de dados primários. É realizada para bacias hidrográficas que tenham condições de homogeneidade, tais como: regime de chuva, relevo, geologia, cobertura florística, solo, ocupação antrópica.” Souza (2013).

Ainda de acordo com CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A(1999) e Ricardo (2016), relativamente à pequenas bacias hidrográficas, a relação entre as áreas de drenagem do aproveitamento e do posto fluviométrico existente, ou vice-versa, deve ser inferior a 4 (quatro) vezes.

Atendida a relação de drenagem citada para transposição de vazões em pequenas bacias hidrográficas, podemos definir o que segue:

Definição 2.3: Sejam duas bacias em condições de homogeneidade, uma bacia “A”, com série hidrológica longa, e outra bacia “X” onde será implantada a mini-central, a transposição de vazões para a bacia “X” será:

$$\text{Equação 2.23: } Q_x = \left( \frac{A_x}{A_A} \right) Q_A$$

Onde:

$Q_x$  - Vazões transpostas para a bacia “X”

$Q_A$  - Vazões da série longa da bacia “A”

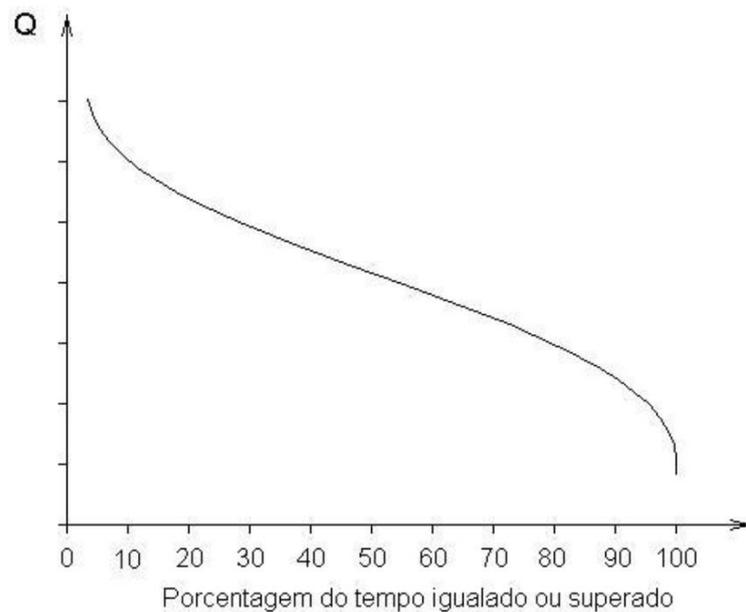
$A_x$  - Área de drenagem da bacia “X”

$A_A$  - Área de drenagem da bacia “A”

### 2.3.3 CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES

“É um gráfico que informa com que frequência a vazão de dada magnitude é igualada ou excedida durante o período de registro das vazões. O traçado da curva é feito, normalmente, com a vazão lançada em ordenada, contra a porcentagem do tempo em que essa vazão é igualada ou excedida em abscissa, como ilustrado abaixo.” Júnior (2016).

Ilustração 2.4 – Curva de Permanência de Vazões



Fonte: Júnior (2016)

No sentido estatístico, a curva de permanência representa uma curva de distribuição de frequências acumuladas de ocorrência das vazões em um rio.

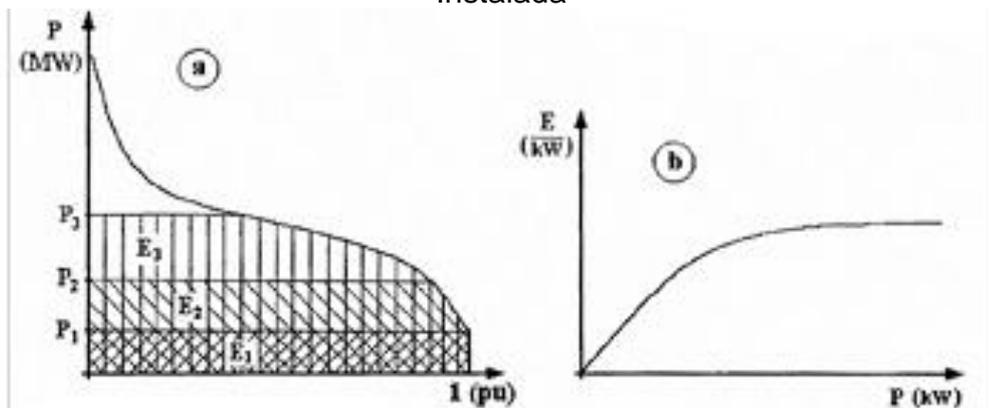
Para se construir uma curva de permanência de vazões são utilizados os registros das vazões em uma estação fluviométrica. A curva pode ser construída para as vazões diárias (vazões médias diárias), situação em que se utiliza a série total, ou para as vazões médias mensais, ou ainda vazões médias anuais.

A curva de permanência permite conhecer os intervalos de tempo em que as vazões foram igualadas ou excedidas, desta forma torna-se uma importante ferramenta empregada em estudos visando a conservação e/ou o aproveitamento dos recursos hídricos. A forma da curva, ou mais propriamente a sua declividade, se constitui em indicativo das características do próprio curso d'água. Assim, uma curva plana, mais achatada, sugere que grandes armazenamentos naturais estão presentes no curso d'água a montante da seção fluviométrica. Já uma curva com forte declividade, ao contrário, indica a ausência de armazenamentos significativos na calha do rio.

### 2.3.4 CURVA DE ENERGIA

Uma metodologia para determinar a vazão de projeto e a potência ótima de projeto em um aproveitamento hidrelétrico é apresentada por Souza (2009). Ela consiste na construção da curva de duração de potência de uma central hidráulica a fio d'água sem a linearização da sua função de produção e, a partir dessa curva, a também construção da curva de energia *versus* potência instalada. Para isto é admitido que seja possível calcular a energia gerada no período de operação para cada potência instalada com base na curva de permanência. As duas curvas descritas podem ser vistas na ilustração abaixo.

Ilustração 2.5 - a) Curva de duração de potência, b) Curva Energia X Potência Instalada



Fonte: Souza (2009)

### 3. MODELOS DE PREVISAO DO SISTEMA ELETRICO BRASILEIRO

#### 3.1 O PROCESSO DE PREVISAO

Segundo ONS (2016), o Operador Nacional do Sistema Elétrico utiliza e elabora periodicamente previsões de vazões naturais afluentes para os locais de aproveitamentos hidrelétricos do Sistema Interligado Nacional – SIN. O objetivo é subsidiar a tomada de decisão para o planejamento e para a operação eletroenergética no âmbito do Programa Mensal de Operação - PMO, bem como promover o despacho centralizado das usinas de forma otimizada.

*“Vazões naturais afluentes de um determinado aproveitamento são aquelas que ocorreriam em uma seção do rio caso não houvesse a operação de reservatórios a montante, nem a vazão evaporada pelos lagos artificiais, nem mesmo retirada de águas consumidas com abastecimento e irrigação montante. Em síntese, são as vazões providas pela própria natureza.”* ONS (2016).

As previsões de vazões são calculadas semanalmente pelo ONS no dia anterior ao da elaboração do PMO, e as Energias Naturais Afluentes (ENAs) mensais são calculadas a partir das previsões de vazões médias semanais e diárias (através das vazões semanais estimadas) para os maiores aproveitamentos de cada bacia hidrográfica de cada um dos quatro subsistemas do SIN.

Os modelos utilizados para previsão variam de acordo com a agregação temporal utilizada, sendo elas: diária, semanal ou mensal. As previsões de vazões diárias são calculadas com os modelos chuva-vazão e, caso necessário, o modelo estocástico PREVIVAZH. O objetivo dessas previsões é possibilitar o cálculo das vazões naturais afluentes médias da semana em curso.

Com as vazões semanais previstas para a semana em curso, o modelo estocástico PREVIVAZ é utilizado para elaborar a previsão de vazões semanais para todas as semanas do mês do PMO. O modelo PREVIVAZ é aplicado para a maioria dos postos.

Ainda de acordo com ONS (2016), o operador nacional utilizava o programa CPINS para a previsão de vazões na bacia do rio São Francisco (trecho incremental entre a UHE Três Marias/Queimado e a UHE Sobradinho) e o modelo estocástico Previvaz para as demais bacias. Com o intuito de melhorar a qualidade das previsões, desde janeiro de 2006 o operador tem buscado usar modelos que incorporem

informações de precipitação de chuvas observada e prevista ao processo de previsão de vazões, dessa forma os modelos hoje utilizados no SIN e as bacias correspondentes estão listados abaixo.

Tabela 3.1– Modelos hidrológicos utilizados para previsão de vazões no SIN

| <b>Bacia/Usina</b>     | <b>Modelos de Previsão (Semanal)</b> | <b>Modelos de Previsão (Mensal)</b> |
|------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| São Francisco          | CPINS / Previzaz                     | PrevizazM                           |
| Rio Iguaçu             | MPCV / Previzaz                      | PrevizazM                           |
| Rio Paraná             | SMAPMEL / Previzaz                   | PrevizazM                           |
| Rio Grande             | SMAP / Previzaz                      | PrevizazM                           |
| Rio Paranapanema       | SMAP / Previzaz                      | PrevizazM                           |
| Rio Paranaíba          | MGB-IPH / Previzaz                   | PrevizazM                           |
| Rio Uruguai            | FUZZY / Previzaz                     | PrevizazM                           |
| UHE Três Marias        | NEURO3M / Previzaz                   | PrevizazM                           |
| UHE Sobradinho         | NeuroSF / Cpins / Previzaz           | PrevizazM                           |
| Alto Paranaíba         | SMAP / Previzaz                      | PrevizazM                           |
| Baixo Grande           | SMAP / Previzaz                      | PrevizazM                           |
| Demais bacias e usinas | Previzaz                             | PrevizazM                           |

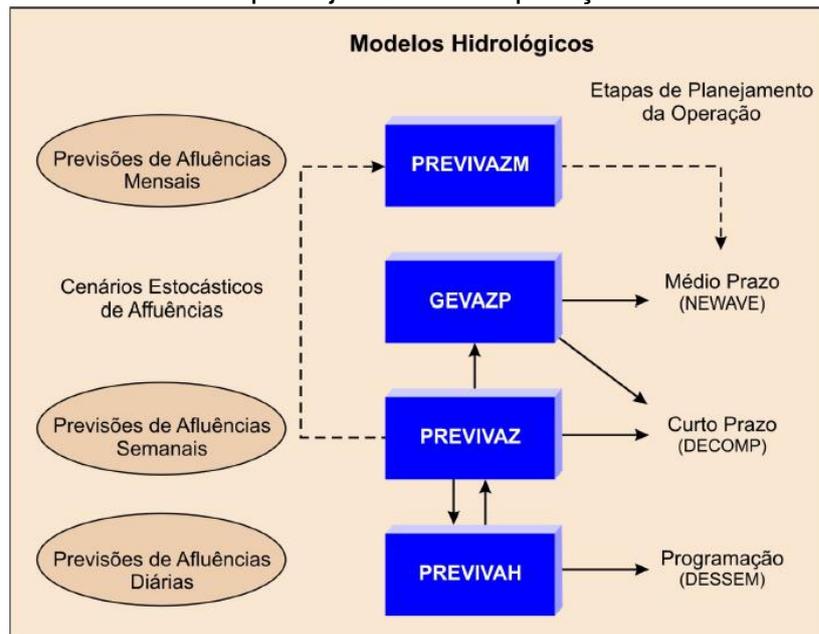
Fonte: ONS (2016).

Os diversos modelos hidrológicos chuva-vazão e híbridos, combinados com o modelo Previzaz, são utilizados pelo ONS para realizar as previsões de uma (1), duas (2) e três (3) semanas à frente (curto prazo). O modelo PrevizazM é utilizado para realizar previsões mensais de vazões naturais afluentes.

De acordo com ONS (2009), o modelo hidrológico GEVAZP é um modelo estocástico multivariado de geração de séries sintéticas de vazões incrementais e totais afluentes para os aproveitamentos hidrelétricos. Ele se baseia em modelos estocásticos convencionais estacionários ou periódicos e utiliza informações de até 11 (onze) meses anteriores.

A ilustração abaixo apresenta a interação entre os modelos hidrológicos de previsão de vazões descritos anteriormente e a cadeia de planejamento da operação do SIN – Sistema Interligado Nacional.

Ilustração 3.1 – Interação entre os modelos hidrológicos de previsão de vazões e a cadeia de planejamento da operação do SIN.



Fonte: Costa (2007).

Os modelos de planejamento da operação mostrados na ilustração acima: NEWAVE, DECOMP e DESSEM são utilizados para realizar a coordenação da geração hidrotérmica (usinas térmicas e hidráulicas) do SIN, de forma a minimizar o valor esperado do custo total de operação ao longo do período de planejamento.

### 3.2 O MODELO PREVIVAZ

“O PREVIVAZ constitui-se num modelo estocástico univariado de previsão de vazões em base semanal, para um horizonte de até 6 (seis) semanas à frente. O modelo, que se baseia em 94 (noventa e quatro) combinações de estrutura de correlação, tipos de transformação e métodos de estimação de parâmetros, utiliza informações de até 4 (quatro) semanas anteriores.” ONS (2009).

De acordo com ONS (2010) e ONS(2015), a versão 5.3 do Previvaz traz inovações, deste modo, o programa que outrora possuía 94 tipos de modelos, agora fica com 140 alternativas de modelagem (46 modelos sem transformação nos dados, 46 modelos com transformação Box & Cox, 46 modelos com transformação logarítmica, média semanal histórica e a média de longo termo semanal).

Conceitualmente, os processos hidrológicos semanais apresentam um comportamento periódico descrito pelos ciclos sazonais, sendo que cada período

sazonal apresenta um conjunto de características estatísticas próprias descritas pela média, desvio-padrão e estruturas de correlação sazonais (ou periódicas). O programa Previvaz utiliza duas classes de modelos estocásticos para a modelagem (ajuste) das semanas observadas: modelos estocásticos estacionários e periódicos.

Os modelos estacionários compreendem; a média anual, a média de cada semana, os modelos autoregressivos AR(p) e os modelos autoregressivos com média-móvel ARMA(p,q), ambas essas classes de modelos possuem estimação de parâmetros realizada pelo método dos momentos.

Os modelos periódicos são o PAR(p) e o PARMA(p,q) que se caracterizam por apresentar uma equação de regressão para cada período. A estimação de parâmetros no modelo PAR(p) é feita com o método dos momentos e também regressão linear em relação à origem das previsões (regressão usando-se apenas as vazões semanais anteriores a origem da previsão). A estimação de parâmetros no modelo PARMA(p,q) é realizada utilizando-se o método dos momentos, regressão simples e regressão em relação a origem das previsões.

Qualquer um dos modelos estocásticos, seja estacionário ou não estacionário, pode ser utilizado com a aplicação da transformação Box-Cox, logarítmica ou sem transformação da série histórica de afluência.

A seleção entre os diversos modelos de previsão implementados no Previvaz é feita com base na média do desvio-padrão dos erros de previsão do modelo sob análise, tanto para a primeira como para a segunda metade da série histórica observada. Os parâmetros do modelo analisado para a primeira metade são determinados com os dados da segunda metade, e os parâmetros do modelo para a segunda metade são determinados com os dados da primeira metade da série. Após a seleção do modelo com a menor média de desvio-padrão, este possui os seus parâmetros determinados utilizando toda a série hidrológica histórica. CEPEL (1997).

Podemos resumir as diferentes alternativas de modelagem hidrológica implementadas no Previvaz na tabela abaixo.

Tabela 3.2 - Alternativas de Modelagem Hidrológica no Previvaz

| <b>Modelo de Previsão</b>   | <b>Característica</b>                | <b>Método de Estimação</b> |
|-----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| CONSTANTE                   | Previsão pela média anual            | Momentos                   |
| SAZONAL                     | Previsão pela média da semana        | Momentos                   |
| AR(p) ( $1 \leq p \leq 4$ ) | Estrutura de correlação estacionária | Momentos                   |

|                                     |  |                  |
|-------------------------------------|--|------------------|
| ARMA(p,1) ( $1 \leq P \leq 3$ )     | Estrutura de correlação estacionária       | Momentos         |
| PAR(p)-G1 ( $1 \leq P \leq 4$ )     | Estrutura de correlação sazonal semestral  | Momentos         |
| PAR(p)-G2 ( $1 \leq P \leq 4$ )     | Estrutura de correlação sazonal trimestral | Momentos         |
| PAR(p)-G3 ( $1 \leq P \leq 4$ )     | Estrutura de correlação sazonal mensal     | Momentos         |
| PAR(p)-G4 ( $1 \leq P \leq 4$ )     | Estrutura de correlação sazonal semanal    | Momentos         |
| PAR(p)-RO ( $1 \leq P \leq 4$ )     | Estrutura de correlação sazonal            | Regressão-origem |
| PARMA(p,1)-G1 ( $1 \leq P \leq 4$ ) | Estrutura de correlação sazonal semestral  | Momentos         |
| PARMA(p,1)-G2 ( $1 \leq P \leq 4$ ) | Estrutura de correlação sazonal trimestral | Momentos         |
| PARMA(p,1)-G3 ( $1 \leq P \leq 4$ ) | Estrutura de correlação sazonal mensal     | Momentos         |
| PARMA(p,1)-G4 ( $1 \leq P \leq 4$ ) | Estrutura de correlação sazonal semanal    | Momentos         |
| PARMA(p,1)-RO ( $1 \leq P \leq 3$ ) | Estrutura de correlação sazonal            | Regressão-origem |
| PARMA(p,1)-R ( $1 \leq P \leq 3$ )  | Estrutura de correlação sazonal            | Regressão        |

Fonte: Costa (2007).

### 3.3 O MODELO PREVIVAZM

“O PREVIVAZM é um modelo estocástico univariado de previsão de vazões em base mensal, para um horizonte de até 12 (doze) meses à frente. O modelo, que se baseia em 80 (oitenta) combinações de estrutura de correlação periódica ou estacionária, tipos de transformação e métodos de estimação de parâmetros, utiliza informações de até 4 (quatro) meses anteriores.” ONS (2009).

O modelo PREVIVAZM foi desenvolvido a partir do modelo PREVIVAZ e segue a mesma abordagem, utilizando agora o intervalo mensal e o horizonte de 12 meses. O procedimento de estimação e escolha do melhor algoritmo de previsão é o mesmo.

Podemos resumir as diferentes alternativas de modelagem hidrológica implementadas no PrevivazM na tabela abaixo. Estes modelos podem também ser aplicados à série histórica de vazões mensais com transformação Box-Cox ou Logarítmica e na série sem transformação.

Tabela 3.3- Alternativas de Modelagem Hidrológica no PrevivazM

| <b>Modelo de Previsão</b>       | <b>Característica</b>                      | <b>Método de Estimação</b> |
|---------------------------------|--|----------------------------|
| CONSTANTE                       | Previsão pela média anual                  | Momentos                   |
| SAZONAL                         | Previsão pela média do mês                 | Momentos                   |
| AR(p) ( $1 \leq P \leq 4$ )     | Estrutura de correlação estacionária       | Momentos                   |
| ARMA(p,1) ( $1 \leq P \leq 3$ ) | Estrutura de correlação estacionária       | Momentos                   |
| PAR(p)-G1 ( $1 \leq P \leq 4$ ) | Estrutura de correlação sazonal semestral  | Momentos                   |
| PAR(p)-G2 ( $1 \leq P \leq 4$ ) | Estrutura de correlação sazonal trimestral | Momentos                   |

|                                     |  |                   |
|-------------------------------------|--|-------------------|
| PAR(p)-G3 ( $1 \leq P \leq 4$ )     | Estrutura de correlação sazonal mensal     | Momentos          |
| PARMA(p,1)-G1 ( $1 \leq P \leq 4$ ) | Estrutura de correlação sazonal semestral  | Momentos          |
| PARMA(p,1)-G2 ( $1 \leq P \leq 4$ ) | Estrutura de correlação sazonal trimestral | Momentos          |
| PARMA(p,1)-G3 ( $1 \leq P \leq 4$ ) | Estrutura de correlação sazonal mensal     | Momentos          |
| PARMA(p,1)-G4 ( $1 \leq P \leq 4$ ) | Estrutura de correlação sazonal semanal    | Momentos          |
| PARMA(p,1)-R ( $1 \leq P \leq 3$ )  | Estrutura de correlação sazonal            | Regressão simples |

Fonte: Costa (2007).

### 3.4 O MODELO PREVIVAZH

“O PREVIVAZH é um modelo de previsão de vazões em base diária, para um horizonte de até 14 (quatorze) dias à frente, baseado na desagregação de previsão semanal a partir da tendência inferida das últimas vazões passadas e de séries sintéticas diárias de vazões naturais de forma ponderada.” ONS (2009).

O modelo baseia-se na desagregação em intervalos diários das previsões semanais obtidas pelo modelo PREVIVAZ e nas sequências sintéticas de vazões diárias obtidas pelo modelo DIANA, condicionada às últimas afluições diárias observadas.

### 3.5 ENERGIA NATURAL AFLUENTE (ENA)

Segundo ONS (2016), a previsão de energia natural afluyente – ENA – mensal é obtida a partir das previsões de vazões semanais, possibilitando a avaliação da disponibilidade energética do sistema do mês em curso.

A previsão de vazões semanais afluentes de cada aproveitamento é transformada em valores mensais, ponderando-se a quantidade de dias da semana e a quantidade de dias no mês. A energia afluyente do mês em curso é calculada multiplicando-se as vazões mensais obtidas pelas produtibilidades equivalentes ao armazenamento de 65% de volume útil de cada reservatório. A ENA de cada aproveitamento é então agregada em forma de bacia e subsistema para permitir uma análise da previsão com integração dos diversos aproveitamentos do SIN.

## 4. ESTUDO HIDROLÓGICO

Hidrologia é a ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas e a sua relação com o meio ambiente, incluindo a sua relação com a vida. (*United State Federal Council Science and Technology*).

O estudo hidrológico tem como objetivos coletar dados hidrológicos e definir a bacia de contribuição para o aproveitamento hidrelétrico a ser implantado. Ambos esses objetivos se desdobram na análise da área da bacia hidrográfica, coleta de dados fluviométricos junto às instituições mantenedoras desses dados e a construção de diagramas que permitam analisar a disponibilidade hídrica do aproveitamento.

Adicionalmente, Souza (2013) afirma que o estudo hidrológico também deve avaliar os condicionantes relacionados ao recurso hídrico que podem fazer variar a geração de energia no tempo (períodos de estiagem e de chuva, trem de anos secos e úmidos) e no espaço (produtividade hídrica dos trechos da bacia).

### 4.1 FERRAMENTAS E METODOLOGIA

Como se trata de um mini potencial hidrelétrico, decidiu-se por realizar a modelagem digital do terreno utilizando imagens de satélite, haja vista que o levantamento aerofotogramétrico se torna inviável economicamente pelo pequeno porte do estudo.

Os dados utilizados para modelagem digital foram os disponibilizados pela Embrapa Monitoramento por Satélite, que são dados numéricos de relevo e da topografia do Brasil obtidos pela nave espacial americana durante a missão conhecida como SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Para cada área de 90 metros por 90 metros do território nacional, dispõe-se de uma medida altimétrica precisa com uma acurácia vertical absoluta de 16 metros (90% de confiança). O sistema de coordenadas geográficas do modelo terrestre Datum WGS84 foi utilizado para a reconstrução do relevo do país e os dados SRTM foram tratados matematicamente através de modelos que permitem reconstituir o relevo do país, como nas cartas topográficas, só que de forma digital e homogênea. Também foram utilizados como fonte de informações os modelos digitais de elevação da América do Sul derivados do

SRTM e pós-processados pela FAO/UNEP (*Food Agriculture Organization/United Nations Environment Programme*), no âmbito do programa GLCN (*Global Land Cover Network*). Os dados vetoriais já processados e organizados em forma de cartas podem ser acessados no seguinte sítio na *Internet*: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/index.htm>

Para o processamento desses dados vetoriais do modelo SRTM foi utilizado um software GIS (*Geographic Information System*) denominado *Global Mapper*, que é capaz de realizar *raster blending*, análise espectral, consulta de elevação, cálculos de vista, recortar e preencher os cálculos de volume, bem como capacidades avançadas como retificação de imagens, geração de contornos a partir de dados de superfície, comparação camada a camada de terreno e triangulação.

Os dados das bacias hidrográficas adjacentes ao aproveitamento foram coletados na ANA – Agência Nacional de Águas, através do sítio [http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes\\_historicas\\_abas.jsf](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf). Esses dados permitiram levantar as características de vazões naturais afluentes, áreas de drenagem e demais outras informações das bacias adjacentes.

Para processamento dos dados hidrológicos foi utilizado o software de informações hidrológicas HIDRO, desenvolvido pela ANA. Este *software* permite realizar análise dos dados fluviométricos, como também traçar gráficos e calcular algumas estatísticas hidrológicas básicas.

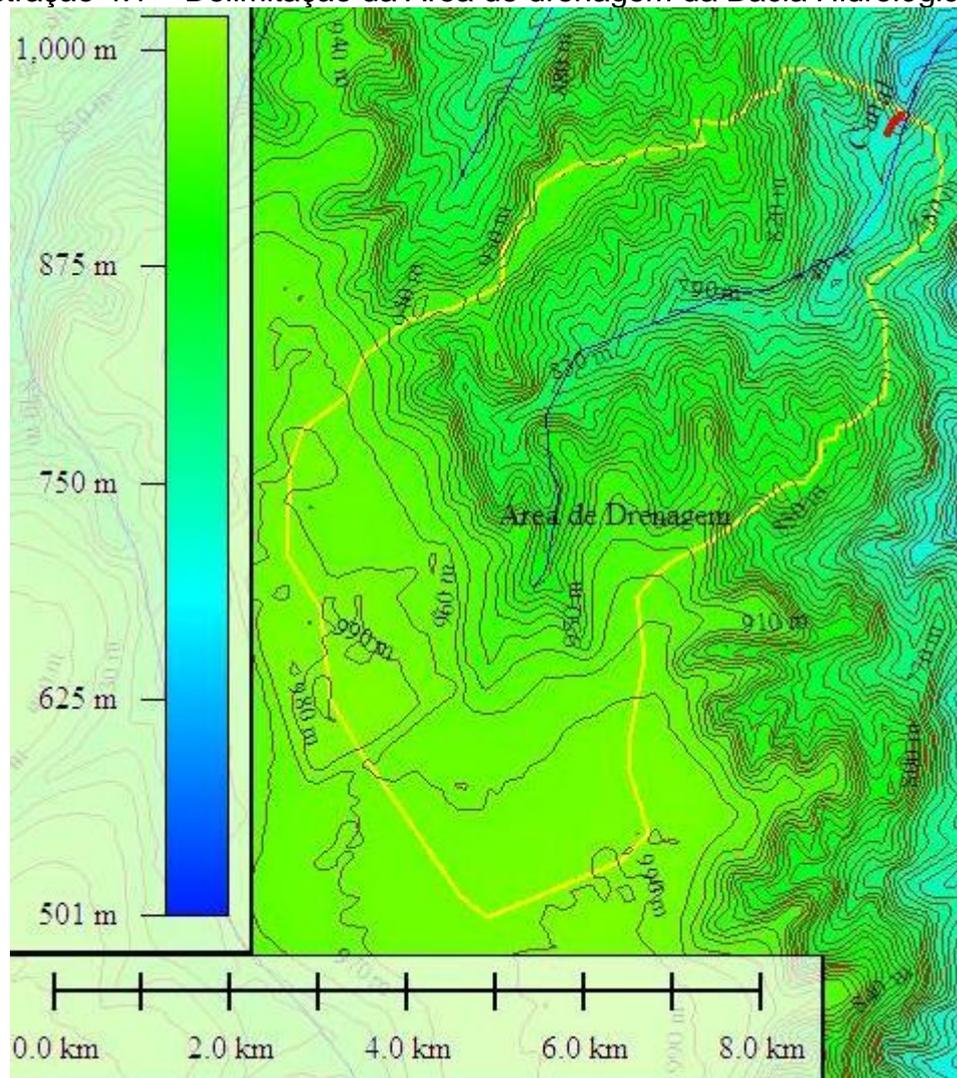
A obtenção de estatísticas avançadas sobre os dados hidrológicos foi realizada com o *software* Excel e o *software* Minitab. O Minitab é um pacote de funcionalidades estatísticas em um único ambiente computacional, que permite realizar diversas análises, incluindo levantamento de correlação entre dados de estações, avaliação de sazonalidade de dados, previsões etc.

## 4.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA

A área estudada está localizada na bacia do Rio Paraná, precisamente no norte do estado de Minas Gerais, e é composta por vazões de um pequeno córrego da região. Trata-se de uma micro-bacia, **sem a existência de dados hidrológicos primários** (estação fluviométrica), numa área onde já houve grande interferência humana e desmatamento, portanto é uma micro-bacia que sofre de grandes variações fluviométricas no córrego onde está localizado o aproveitamento hidrelétrico.

A micro-bacia em estudo passa a ser denominada de agora em diante como bacia estudada, e a sua área de drenagem foi calculada traçando-se curvas de nível de 10m num raio de 100km do ponto do aproveitamento, que é o local onde se encontra instalada a mini-central desativada. A Ilustração abaixo mostra a construção das curvas de nível de 10m e a delimitação da área de drenagem da mini-bacia hidrológica no *software Global Mapper*.

Ilustração 4.1 – Delimitação da Área de drenagem da Bacia Hidrológica



Fonte: Elaborado pelo autor.

A área de drenagem calculada foi de 35,85Km<sup>2</sup>, a qual compreende a área de drenagem a montante da tomada d'água do aproveitamento.

Além da área de drenagem calculada, a tabela abaixo mostra demais características fisiográficas para a mesma bacia estudada.

Tabela 4.1 – Características fisiográficas da bacia estudada

|                       |        |                   |
|-----------------------|--------|-------------------|
| Área de drenagem      | 35,85  | Km <sup>2</sup>   |
| Perímetro             | 27,46  | Km                |
| Comprimento axial     | 8,00   | Km                |
| Compacidade           | 1,28   |                   |
| Conformação           | 0,56   |                   |
| Densidade de drenagem | 0,22   | 1/Km <sup>2</sup> |
| Desnível do rio       | 213,00 | m                 |
| Declividade do rio    | 26,63  | m/km              |
| Tempo de concentração | 1,33   | horas             |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o cálculo das características da micro-bacia, é possível enumerar algumas características de comportamento hidrológico das vazões:

- a) É uma pequena bacia hidrográfica, sujeita, portanto às condicionantes de bacias desse porte.
- b) O índice de compacidade é considerado baixo, o que torna a bacia susceptível a inundações na sua parte baixa, ou seja, no local do aproveitamento.
- c) O índice de conformação é considerado alto, o que torna a bacia susceptível a inundações na parte baixa, ou seja, no local do aproveitamento.
- d) O índice de densidade de drenagem indica que a bacia é susceptível a inundações e que a sua drenagem é considerada pobre.

### 4.3 SELEÇÃO DE DADOS HIDROLÓGICOS

A seleção de dados para a realização de estudos hidrológicos leva em conta a qualidade e quantidade espacial e temporal dos dados. Os critérios geralmente são a precisão das curvas de descarga, alterações nas séries hidrológicas e a extensão dos períodos de vazão.

A utilização de informações hidrológicas requer uma análise prévia de consistência. O dados fluviométricos disponibilizados pela ANA recebem essa análise antes da sua publicação no banco de dados público, com indicação do período consistido e do período não consistido.

A triagem dos postos fluviométricos que poderão fornecer os dados na região de interesse deverão atender a dois requisitos básicos:

- a) Possuir pelo menos cinco anos de dados completos.
- b) Possuir curva-chave e vazões geradas.

O posto a ser utilizado nesse estudo deverá atender aos critérios de homogeneidade e de relação de área de drenagem, ambos descritos na seção 2.3.2 da fundamentação teórica principal.

Após o tratamento das falhas no posto selecionado passa-se a utilizar a técnica de transposição de vazões, já mencionada anteriormente, para obtenção dos dados para a área de interesse. Em caso de prosseguimento nos estudos para a instalação da central pode-se proceder medições na seção do rio estudado para realizar o ajustamento linear dos dados provenientes do posto selecionado.

Num raio de 110km do local do aproveitamento hidrelétrico foram identificados 14 postos fluviométricos (estações) com série de dados consistidos disponíveis. A tabela abaixo mostra as estações fluviométricas disponíveis e a distância destas até a bacia estudada (local do aproveitamento).

Tabela 4.2 – Estações fluviométricas próximas à área de interesse

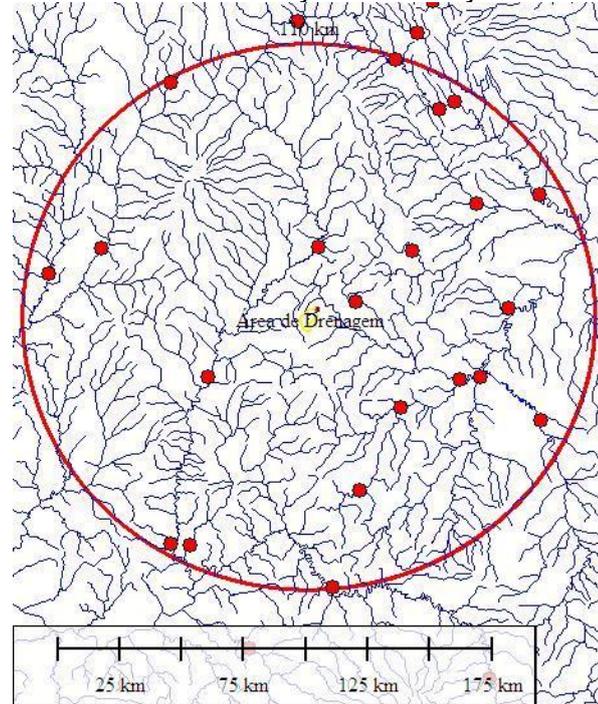
| <b>Designação</b> | <b>Dados consistidos de:</b> | <b>Dados consistidos até:</b> | <b>Área de Drenagem [Km<sup>2</sup>]</b> | <b>Distância da Bacia Estudada [Km]</b> |
|-------------------|------------------------------|-------------------------------|--|---|
| A                 | 01/07/1973                   | 01/12/2007                    | 464,00                                   | 73,44                                   |
| B                 | 01/07/1973                   | 01/12/2007                    | 1.870,00                                 | 49,96                                   |
| C                 | 01/07/1973                   | 01/12/2007                    | 248,00                                   | 15,29                                   |
| D                 | 01/10/1974                   | 01/12/2007                    | 560,00                                   | 61,03                                   |
| E                 | 01/08/1965                   | 01/12/2007                    | 7.760,00                                 | 67,84                                   |
| F                 | 01/01/1976                   | 01/12/2005                    | 560,00                                   | 98,00                                   |
| G                 | 01/05/1955                   | 01/12/2007                    | 12.800,00                                | 73,14                                   |
| H                 | 01/10/1974                   | 01/10/2007                    | 520,00                                   | 74,96                                   |
| I                 | 01/09/1973                   | 01/12/2007                    | 552,00                                   | 44,11                                   |
| J                 | 01/11/1956                   | 01/12/2007                    | 9.400,00                                 | 97,12                                   |
| K                 | 01/07/1966                   | 01/07/2007                    | 4.445,00                                 | 26,37                                   |
| L                 | 01/04/1972                   | 01/12/2007                    | 8.386,00                                 | 49,60                                   |
| M                 | 01/06/1969                   | 01/12/2007                    | 10.659,00                                | 109,90                                  |
| N                 | 01/06/1974                   | 01/09/2006                    | 902,00                                   | 105,92                                  |

Fonte: Elaborado pelo autor.

As vazões médias mensais das estações “A” até a estação “N” encontram-se no Apêndice A – Dados Hidrológicos, deste trabalho.

As mesmas estações podem ser visualizadas dentro de uma circunferência de raio 110km na ilustração abaixo, com o auxílio do software *Global Mapper*.

Ilustração 4.2 – Raio de seleção de estações fluviométricas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Todas as bacias dentro da delimitação da circunferência de raio 110km atendem a condições de homogeneidade de bacias hidrográficas, haja vista que as características de regime de chuva, relevo, geologia, cobertura florística, solo e ocupação antrópica permanece a mesma no raio adotado.

Como dito anteriormente, a bacia estudada não possui estação fluviométrica, portanto não dispomos de dados hidrológicos primários, sendo que a única forma de se obter dados históricos é utilizando uma estação próxima ao local do aproveitamento, que atenda as condições de homogeneidade e de relação de área de drenagem.

A área de drenagem da bacia estudada é 35,85Km<sup>2</sup>, o que implica que os dados só poderiam ser obtidos de uma bacia próxima com no máximo 143,4Km<sup>2</sup> de área de drenagem. A única estação que atende a condição de homogeneidade e que está próxima de atender a condição de relação de áreas de drenagem é a bacia “C”. Como não dispomos de mais dados hidrológicos, além dos já apresentados, usaremos a bacia “C” como fonte de dados hidrológicos primários, que passará a ser denominada de bacia base.

#### 4.4 PREENCHIMENTO DE FALHAS

A bacia base que fornecerá os dados hidrológicos históricos para a bacia estudada possui diversas falhas no seu preenchimento diário de vazões ao longo dos anos. Abaixo listamos as falhas identificadas.

Tabela 4.3 – Falha de dados na estação base

| Falha | Dados de:  | Dados até: |
|-------|------------|------------|
| C1    | 01/07/1973 | 21/07/1973 |
| C2    | 10/02/1979 | 28/02/1979 |
| C3    | 01/11/1981 | 17/11/1981 |
| C4    | 05/02/1983 | 28/02/1983 |
| C5    | 01/03/1983 | 08/03/1983 |
| C6    | 08/12/1983 | 31/12/1983 |
| C7    | 01/01/1984 | 11/01/1984 |
| C8    | 04/02/1992 | 13/02/1992 |
| C9    | 06/04/2008 | 12/04/2008 |
| C10   | 26/05/2010 | 31/05/2010 |
| C11   | 01/10/1983 | 31/10/1983 |
| C12   | 01/09/2009 | 30/09/2009 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

As falhas identificadas impedem a determinação das vazões média, máxima e mínima mensal para os períodos com falha, dessa forma para realizar o preenchimento dos dados de vazões mensais, foi necessário avaliar a correlação de dados entre a estação fluviométrica “C” com todas as demais 13 estações fluviométricas selecionadas no raio de 110km.

De acordo com Tucci (2002), o preenchimento das falhas da estação em estudo deverá ser feito com dados de outra estação adjacente. A estação adjacente a ser escolhida deverá possuir maior coeficiente de determinação  $R^2$  a ser obtido na equação de potência de ajuste entre as estações em estudo e proponente.

Na avaliação de correlação de estações foram utilizados os dados de vazão média mensal de todas as estações partindo de 01/01/1976 a 01/09/2006, já que este é um período comum a todas as estações. O coeficiente de determinação  $R^2$  e as equações de correlação entre as estações selecionadas e a estação base “C” estão na tabela abaixo.

Tabela 4.4 – Correlação da estação base “C” com as demais estações

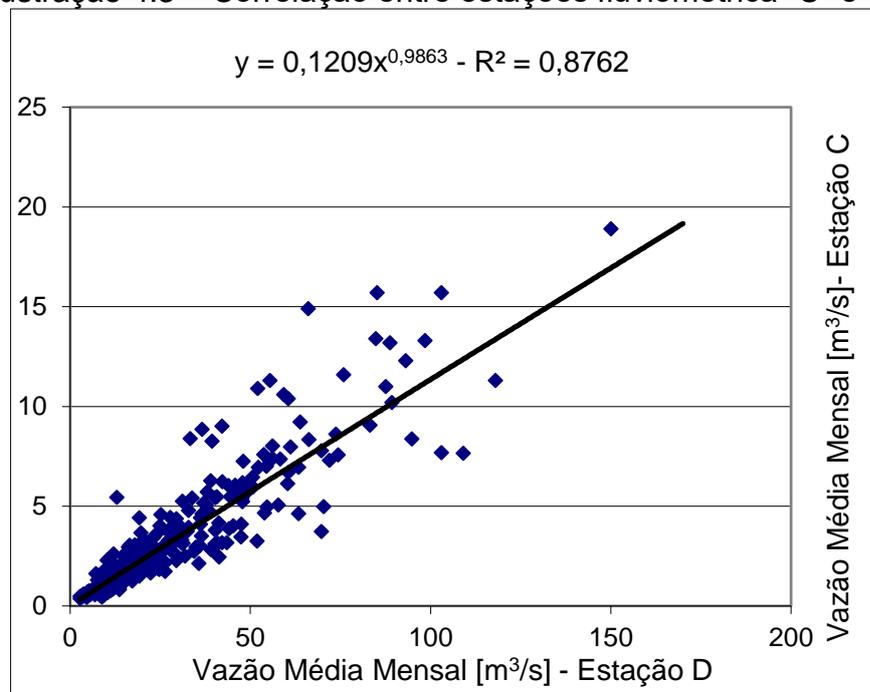
| Estação        | A                    | B                    | C                    | D                    | E                    |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| R <sup>2</sup> | 0,7899               | 0,8353               | 1                    | 0,8762               | 0,8461               |
| Equação        | $y=0,3885x^{1,0118}$ | $y=0,1157x^{0,9915}$ | $y=x$                | $y=0,1209x^{0,9863}$ | $y=0,0537x^{0,8947}$ |
| Estação        | F                    | G                    | H                    | I                    | J                    |
| R <sup>2</sup> | 0,7063               | 0,8667               | 0,8154               | 0,8369               | 0,759                |
| Equação        | $y=0,0957x^{0,8986}$ | $y=0,0251x^{0,9486}$ | $y=0,4136x^{0,7292}$ | $y=0,4395x^{0,9455}$ | $y=,0394x^{0,9175}$  |
| Estação        | K                    | L                    | M                    | N                    |                      |
| R <sup>2</sup> | 0,8315               | 0,8401               | 0,8417               | 0,7703               |                      |
| Equação        | $y=0,0396x^{1,021}$  | $y=0,0122x^{1,1157}$ | $y=0,0096x^{1,1061}$ | $y=0,1909x^{1,0034}$ |                      |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Pelos coeficientes de determinação calculados entre a estação base “C” e as demais estações, conclui-se que o preenchimento das falhas de vazão deve ser feito prioritariamente com dados da estação “D”, que possui o maior grau de associação com a estação base e, na ausência de dados da estação “D” para o período de falha em “C”, devem ser usados os dados da estação “G”.

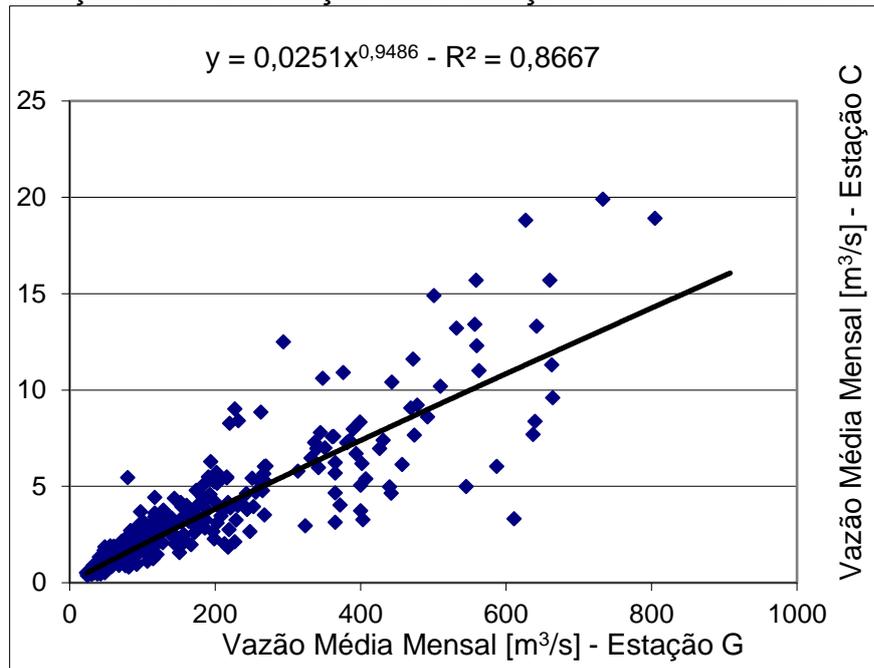
As ilustrações abaixo mostram as correlações entre as estações “C” e “D” e entre as estações “C” e “G”.

Ilustração 4.3 – Correlação entre estações fluviométrica “C” e “D”



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ilustração 4.4 – Correlação entre estações fluviométrica “C” e “G”



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o preenchimento das vazões máxima e mínima mensal foram utilizados os dados de vazão máxima e mínima das estações “D” e “G”, nesta ordem, e com as seguintes equações de preenchimento para as vazões em “C”.

Tabela 4.5 – Correlação de vazões máximas e mínimas

| Estação        | Máxima D             | Mínima D             | Máxima G             | Mínima G             |
|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| R <sup>2</sup> | 0,7756               | 0,8522               | 0,7704               | 0,8504               |
| Equação        | $y=0,0847x^{1,1509}$ | $y=0,1484x^{0,8998}$ | $y=0,0143x^{1,0864}$ | $y=0,0196x^{1,0053}$ |

Fonte: Elaborado pelo autor.

As vazões média, máxima e mínima mensais da estação base “C”, já com as falhas preenchidas, encontram-se no Apêndice B – Preenchimento de Falhas.

#### 4.5 TRANSPOSIÇÃO DE VAZÕES

Para a obtenção dos dados hidrológicos para a bacia estudada, optou-se pela técnica de transposição de vazões. Os dados utilizados na transposição são os das vazões médias mensais da bacia base “C”, já com as falhas de preenchimento corrigidas. O fator de transposição adotado é o quociente das áreas de drenagem da bacia estudada pela área de drenagem da bacia “C”, o que corresponde a **0,14455645**.

As vazões médias mensais da bacia estudada encontram-se no Apêndice C – Dados Hidrológicos da Bacia Estudada.

A técnica de transposição de vazões foi descrita na seção 2.3.2 da fundamentação teórica principal.

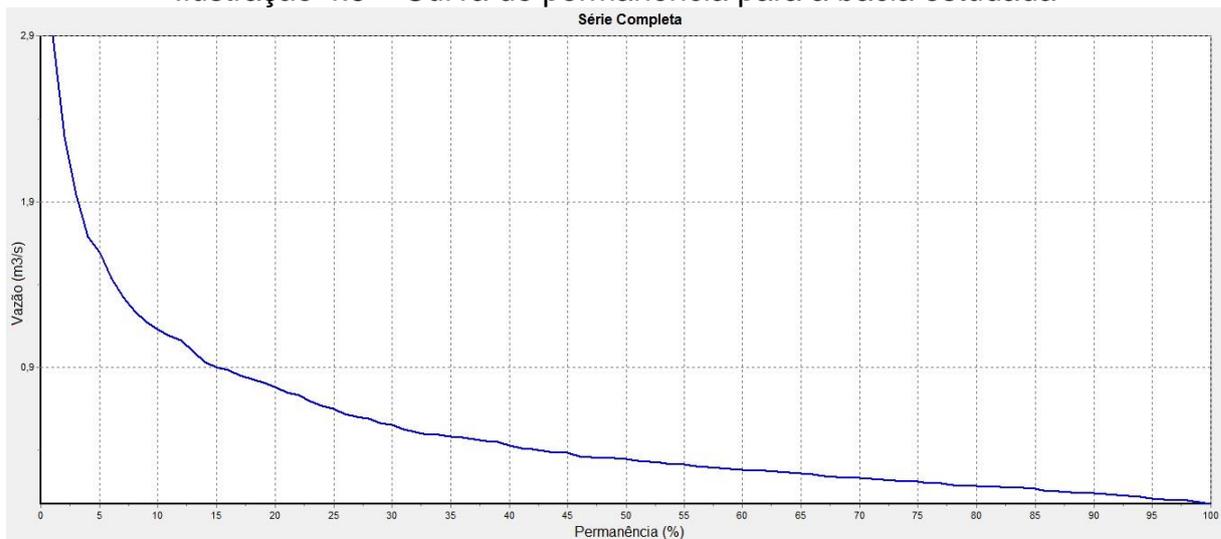
## 4.6 RESULTADOS DO ESTUDO

Com a obtenção dos dados de vazões para a bacia estudada, foi possível levantar as variáveis hidrológicas necessárias para caracterizar o aproveitamento hidrelétrico local.

### 4.6.1 CURVA DE PERMANÊNCIA

A curva de permanência de vazões foi desenvolvida para a área em estudo e está representada na ilustração abaixo. Foram utilizadas vazões médias mensais de 07/1973 a 05/2010 para o cálculo da probabilidade de superação de vazões, dada que a utilização de vazões médias mensais é mais apropriada para estudos de produção de energia do que a utilização de vazões médias diárias.

Ilustração 4.5 – Curva de permanência para a bacia estudada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os pontos de superação de vazão utilizados para a construção da curva de permanência no período citado estão listados na tabela abaixo. Também estão listados os pontos de superação agrupados por meses do ano, o que permite avaliar a permanência de vazões dentro de um ano, considerando para cálculo os dados do mesmo período citado.

A interpretação da curva de permanência, bem como o seu significado estatístico estão descritos na seção 2.3.3 da fundamentação teórica principal.

Tabela 4.6 – Pontos de superação de vazão da curva de permanência (período completo e mensal)

| Parâmetros  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| =====   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Série: Bacia Estudada (Consistido, Média Diária, 07/1973 - 05/2010) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Tipo de cálculo: Mensal   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Período de cálculo: 07/1973 a 05/2010                               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Resumo  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| =====   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Série   | 100%  | 95%   | 90%   | 85%   | 80%   | 75%   | 70%   | 65%   | 60%   | 55%   | 50%   | 45%   | 40%   | 35%   | 30%   | 25%   | 20%   | 15%   | 10%   | 5%    |
| Completa  | 0,053 | 0,087 | 0,118 | 0,143 | 0,161 | 0,188 | 0,209 | 0,237 | 0,262 | 0,289 | 0,325 | 0,360 | 0,406 | 0,459 | 0,528 | 0,628 | 0,757 | 0,878 | 1,10  | 1,57  |
| Jan   | 0,274 | 0,283 | 0,360 | 0,413 | 0,454 | 0,472 | 0,532 | 0,594 | 0,678 | 0,722 | 0,780 | 0,850 | 0,874 | 1,09  | 1,14  | 1,30  | 1,49  | 1,69  | 2,03  | 2,73  |
| Fev   | 0,211 | 0,306 | 0,330 | 0,340 | 0,418 | 0,485 | 0,522 | 0,581 | 0,685 | 0,754 | 0,785 | 0,836 | 0,917 | 0,981 | 1,08  | 1,22  | 1,63  | 1,66  | 2,36  | 2,73  |
| Mar   | 0,248 | 0,260 | 0,271 | 0,293 | 0,392 | 0,419 | 0,444 | 0,484 | 0,544 | 0,572 | 0,678 | 0,757 | 0,889 | 1,02  | 1,06  | 1,08  | 1,15  | 1,31  | 1,62  | 2,28  |
| Abr   | 0,157 | 0,197 | 0,233 | 0,245 | 0,292 | 0,323 | 0,357 | 0,367 | 0,450 | 0,460 | 0,520 | 0,590 | 0,677 | 0,727 | 0,790 | 0,799 | 0,829 | 0,878 | 0,950 | 1,19  |
| Mai   | 0,114 | 0,148 | 0,162 | 0,174 | 0,189 | 0,246 | 0,254 | 0,304 | 0,323 | 0,331 | 0,337 | 0,338 | 0,383 | 0,435 | 0,453 | 0,463 | 0,487 | 0,541 | 0,602 | 0,835 |
| Jun   | 0,091 | 0,108 | 0,131 | 0,136 | 0,149 | 0,188 | 0,205 | 0,214 | 0,230 | 0,247 | 0,263 | 0,279 | 0,296 | 0,317 | 0,329 | 0,333 | 0,365 | 0,398 | 0,475 | 0,606 |
| Jul   | 0,075 | 0,093 | 0,103 | 0,109 | 0,123 | 0,139 | 0,151 | 0,162 | 0,172 | 0,204 | 0,207 | 0,229 | 0,245 | 0,255 | 0,262 | 0,277 | 0,297 | 0,321 | 0,392 | 0,500 |
| Ago   | 0,071 | 0,073 | 0,080 | 0,083 | 0,097 | 0,103 | 0,115 | 0,130 | 0,150 | 0,160 | 0,175 | 0,188 | 0,205 | 0,220 | 0,225 | 0,237 | 0,273 | 0,301 | 0,341 | 0,450 |
| Set   | 0,066 | 0,067 | 0,072 | 0,076 | 0,082 | 0,099 | 0,119 | 0,120 | 0,143 | 0,147 | 0,157 | 0,168 | 0,178 | 0,181 | 0,193 | 0,205 | 0,231 | 0,277 | 0,306 | 0,415 |
| Out   | 0,053 | 0,062 | 0,073 | 0,085 | 0,091 | 0,103 | 0,117 | 0,123 | 0,146 | 0,156 | 0,164 | 0,189 | 0,201 | 0,207 | 0,211 | 0,238 | 0,262 | 0,289 | 0,384 | 0,648 |
| Nov   | 0,117 | 0,118 | 0,126 | 0,129 | 0,149 | 0,159 | 0,162 | 0,174 | 0,209 | 0,226 | 0,255 | 0,268 | 0,304 | 0,333 | 0,362 | 0,383 | 0,432 | 0,500 | 0,899 | 1,11  |
| Dez   | 0,180 | 0,193 | 0,257 | 0,286 | 0,298 | 0,349 | 0,442 | 0,454 | 0,494 | 0,562 | 0,596 | 0,660 | 0,701 | 0,811 | 0,974 | 1,14  | 1,30  | 1,40  | 1,83  | 1,97  |

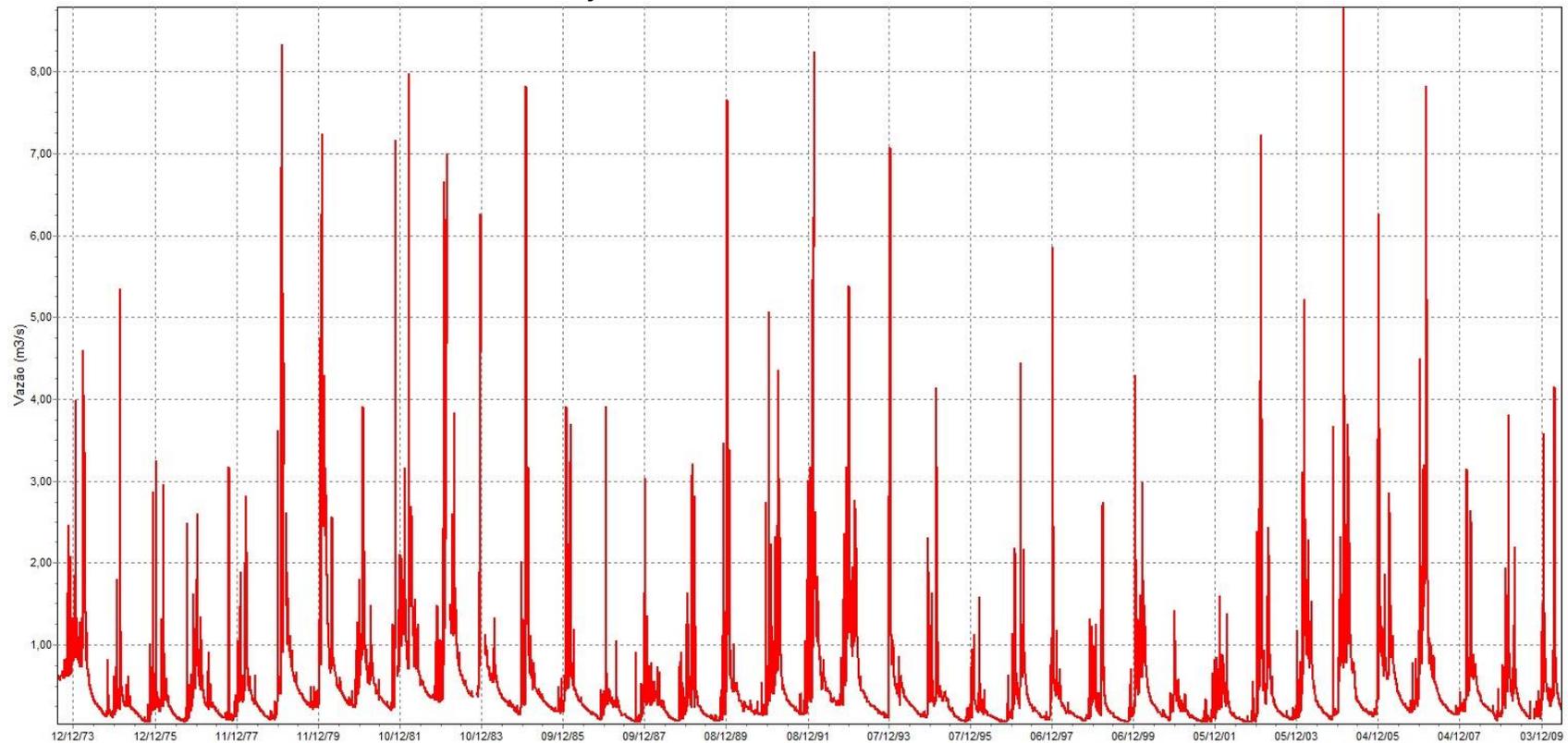
Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.6.2 VAZÕES MÉDIAS

A vazão média diária da bacia estudada, avaliada de 07/1973 a 05/2010, mostra o caráter sazonal da vazão, sendo que é possível verificar um período seco e um período chuvoso no interstício de um ano. O período chuvoso ocorre de outubro a março, como em toda região sudeste.

A ilustração 4.6 registra o comportamento de variável hidrológica ao longo de todo o tempo histórico analisado.

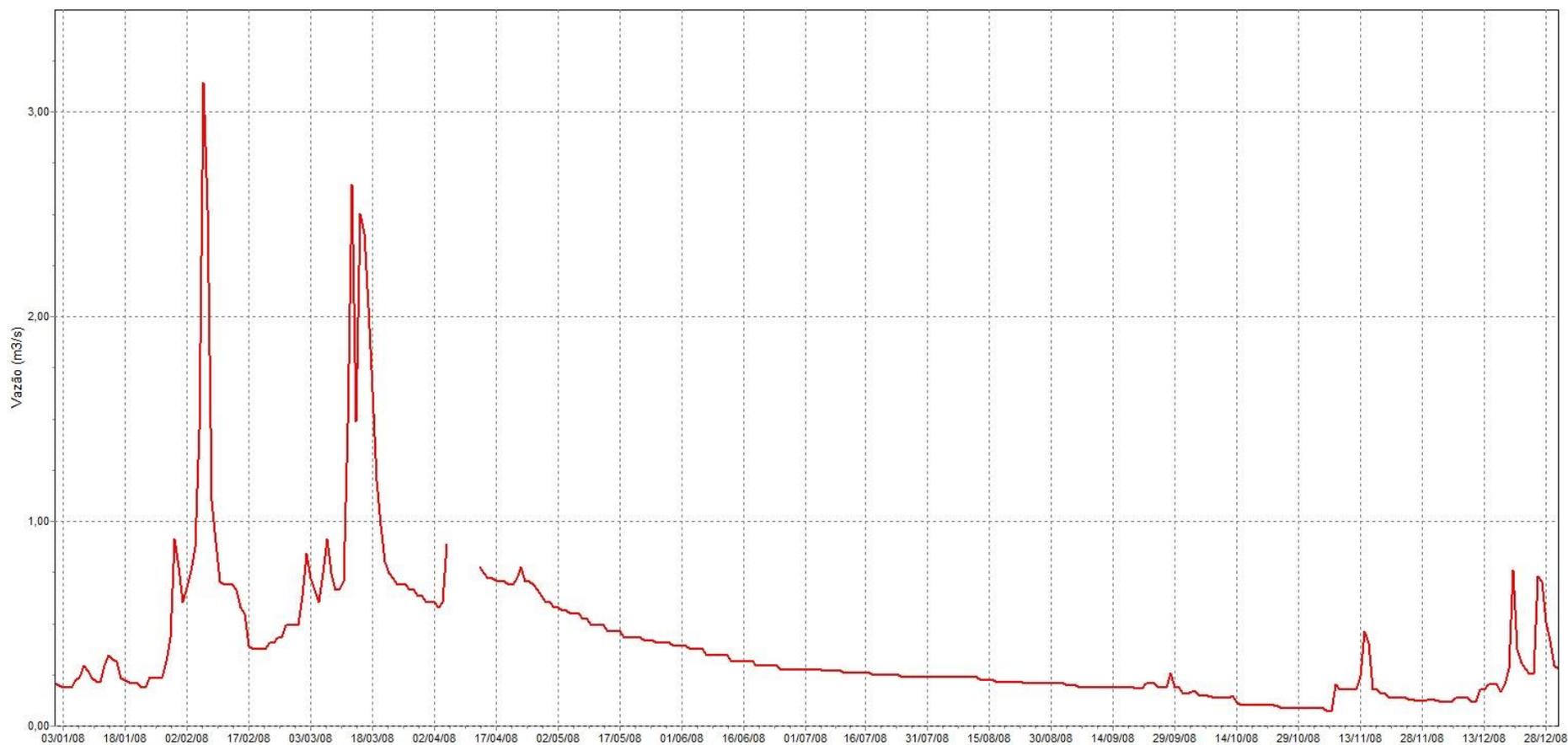
Ilustração 4.6 – Vazão média diária da bacia estudada



Fonte: Elaborado pelo autor

A ilustração 4.7 detalha o comportamento das vazões do ano de 2008, deixando clara a diferença entre os períodos seco e chuvoso da região.

Ilustração 4.7 - Vazão média diária no ano de 2008



Fonte: Elaborado pelo autor

Com os dados de vazão diária, é possível determinar a vazão média de longo termo, que na prática, significa que se o curso d'água escoar uniformemente no tempo considerado ele deverá produzir o mesmo deflúvio gerado pelas vazões naturais variáveis. Segundo Souza (2013), a vazão média de longo termo (QMLT) indica a máxima disponibilidade hídrica anual caso o curso d'água na seção fosse totalmente regularizado sem qualquer perda d'água.

A QMLT para o aproveitamento analisado é 0,491 m<sup>3</sup>/s, o que preliminarmente indica tratar-se de um micro-aproveitamento energético, algo que poderá ser confirmado no estudo de motorização que será desenvolvido no capítulo seguinte.

#### 4.6.3 VAZÕES MÁXIMAS

*“As vazões máxima e mínima que poderão vir a ocorrer no futuro em período preestabelecido denominam-se vazões extremas para o período respectivo.”* Souza (2009).

Ainda segundo Souza (2009), o risco de cheia de uma central hidrelétrica que esteja situado entre 10% e 20% corresponde, praticamente, à inexistência de prejuízos de qualquer espécie a jusante. Este critério será adotado na análise de vazões máximas que será feita a seguir.

Também, Souza (2013) afirma que o correto é fazer uma extrapolação para tempos de recorrência que não sejam superiores a duas ou três vezes o número de anos da amostra. Como a amostra de vazões máxima média no ano é composta de 38 anos (1973 a 2010), devemos avaliar os tempos de recorrência inferiores a 114 anos.

Para determinar as vazões máximas instantâneas ocorridas em um ano a partir das vazões máximas médias anuais, foi utilizada a seguinte fórmula de *Füller*.

$$\text{Equação 4.1: } Q_{m\acute{a}x\_inst} = Q_{m\acute{a}x\_m\acute{e}dia} \left( 1 + \frac{2,66}{Ad^{0,3}} \right)$$

Onde:

$Q_{m\acute{a}x\_inst}$  - vazão máxima instantânea no ano

$Q_{m\acute{a}x\_m\acute{e}dia}$  - vazão máxima média no ano

$Ad$  - área de drenagem da bacia hidrográfica

Com a aplicação da equação de *Füller*, determinamos as seguintes vazões máximas instantâneas anuais.

Tabela 4.7 – Vazões máximas instantâneas anuais

| Ano  | $Q_{m\acute{a}x\_m\acute{e}d\grave{a}}$ | $Q_{m\acute{a}x\_inst}$ | Ano  | $Q_{m\acute{a}x\_m\acute{e}d\grave{a}}$ | $Q_{m\acute{a}x\_inst}$ |
|------|---|-------------------------|------|---|-------------------------|
| 1973 | 1,274                                   | 2,431                   | 1992 | 6,950                                   | 13,267                  |
| 1974 | 4,600                                   | 8,781                   | 1993 | 7,080                                   | 13,515                  |
| 1975 | 5,350                                   | 10,213                  | 1994 | 2,310                                   | 4,410                   |
| 1976 | 2,960                                   | 5,650                   | 1995 | 4,140                                   | 7,903                   |
| 1977 | 3,180                                   | 6,070                   | 1996 | 1,580                                   | 3,016                   |
| 1978 | 3,620                                   | 6,910                   | 1997 | 5,860                                   | 11,186                  |
| 1979 | 8,330                                   | 15,901                  | 1998 | 1,320                                   | 2,520                   |
| 1980 | 7,250                                   | 13,840                  | 1999 | 4,290                                   | 8,189                   |
| 1981 | 7,160                                   | 13,668                  | 2000 | 2,990                                   | 5,708                   |
| 1982 | 7,980                                   | 15,233                  | 2001 | 0,846                                   | 1,615                   |
| 1983 | 6,650                                   | 12,694                  | 2002 | 2,390                                   | 4,562                   |
| 1984 | 2,020                                   | 3,856                   | 2003 | 7,230                                   | 13,802                  |
| 1985 | 7,830                                   | 14,947                  | 2004 | 5,220                                   | 9,965                   |
| 1986 | 3,920                                   | 7,483                   | 2005 | 8,790                                   | 16,780                  |
| 1987 | 3,180                                   | 6,070                   | 2006 | 4,490                                   | 8,571                   |
| 1988 | 1,640                                   | 3,131                   | 2007 | 7,830                                   | 14,947                  |
| 1989 | 7,660                                   | 14,622                  | 2008 | 3,150                                   | 6,013                   |
| 1990 | 5,070                                   | 9,678                   | 2009 | 3,810                                   | 7,273                   |
| 1991 | 4,360                                   | 8,323                   | 2010 | 1,390                                   | 2,653                   |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A fórmula de Horton relaciona o tempo de recorrência, ao risco e à vida útil da obra e pode ser descrita da seguinte forma:

$$\text{Equação 4.2: } r = [1 - (1 - p)^N](\%)$$

Onde:

$r$  - Risco de vir a ocorrer nos próximos N anos, pelo menos uma vez, a vazão de cheia máxima que ocorreu num tempo de recorrência de T anos.

$p = \frac{1}{T}$  - Probabilidade de, pelo menos uma vez, vir a ocorrer a vazão de

cheia máxima num período futuro igual ao tempo de recorrência.

Com as vazões máximas instantâneas anuais e a fórmula de Horton, construímos o mapa de risco abaixo do aproveitamento sob análise. Para o cálculo da vazão extrema de cheia foram utilizados os métodos de *Gümbell* e *Log Pearson III* aplicados às características fisiográficas da área em estudo.

Tabela 4.8 – Mapa de risco futuro de ocorrência de cheias

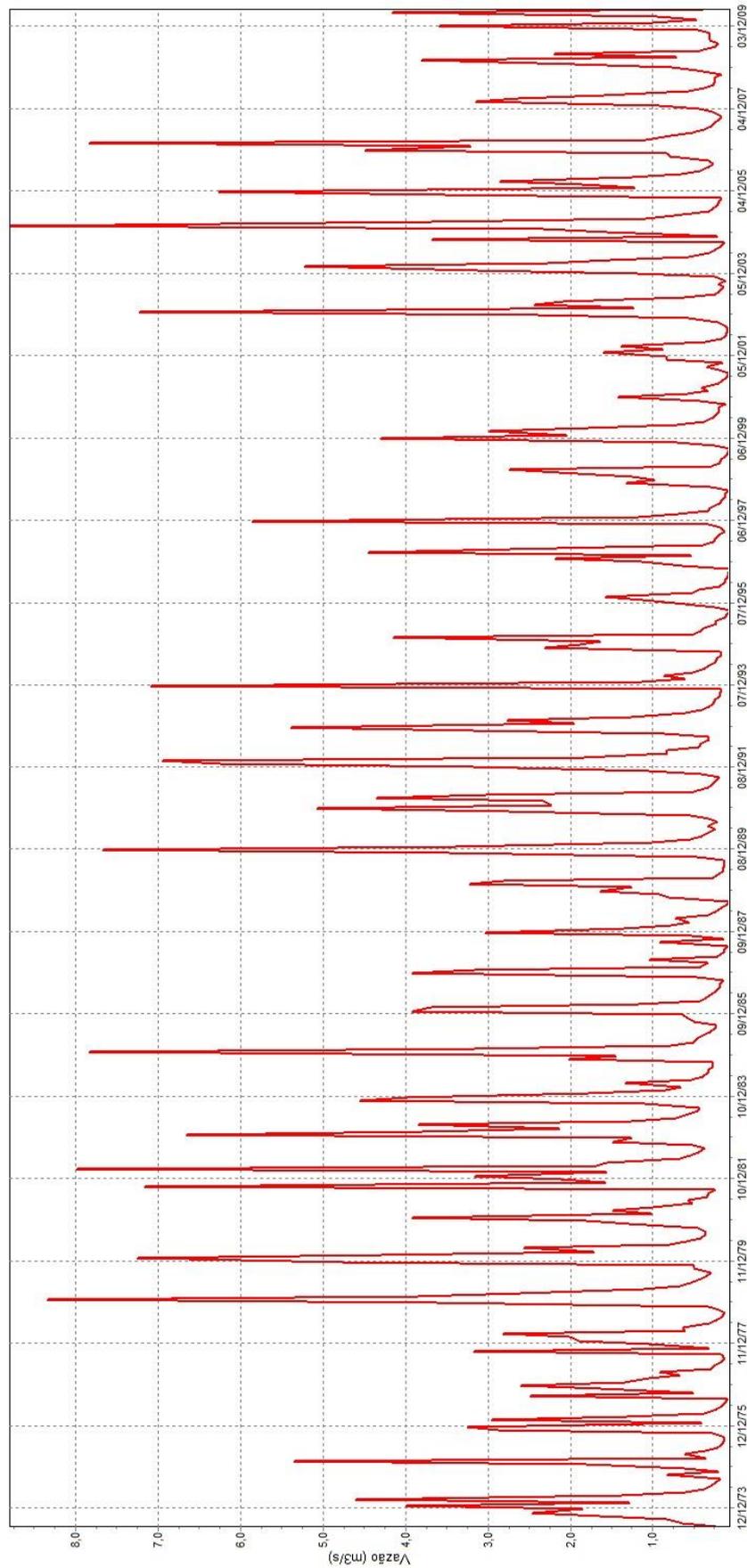
| Avaliação de Risco | Tempo de Recorrência (anos) - T | Probabilidade de Cheia no Tempo de Recorrência (%) - p | Vida Útil da Estrutura (anos) - N | Risco (%) - r | Gümbell Cheia (m <sup>3</sup> /s) | Log Pearson III Cheia (m <sup>3</sup> /s) |
|--------------------|---------------------------------|--|-----------------------------------|---------------|-----------------------------------|---|
| A                  | 10                              | 10%  | 40                                | 99%           | 16,42                             | 15,34                                     |
| B                  | 10                              | 10%  | 40                                | 99%           | 16,42                             | 15,34                                     |
| C                  | 20                              | 5%   | 40                                | 87%           | 19,82                             | 18,08                                     |
| D                  | 30                              | 3%   | 40                                | 74%           | 18,72                             | 19,58                                     |
| E                  | 50                              | 2%   | 40                                | 55%           | 20,53                             | 21,38                                     |
| F                  | 100                             | 1%   | 40                                | 33%           | 23                                | 23,67                                     |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Adotado o critério de risco (inexistência de prejuízos) e conhecida a extrapolação máxima permitida para o tempo de recorrência, identificamos a avaliação de risco “F”, da Tabela 4.8, como a adequada. No nível de risco adotado, o dimensionamento de estruturas hidráulicas da central deverá suportar uma cheia de aproximadamente 23 m<sup>3</sup>/s.

Por fim, a ilustração abaixo mostra as vazões máxima diária que ocorreram nos meses de todo o período estudado de 07/1973 a 05/2010, sendo que o maior pico de vazão observado ocorreu no dia 02/02/2005, registrando 8,794m<sup>3</sup>/s.

Ilustração 4.8 – Vazão máxima diária registrada nos meses avaliados

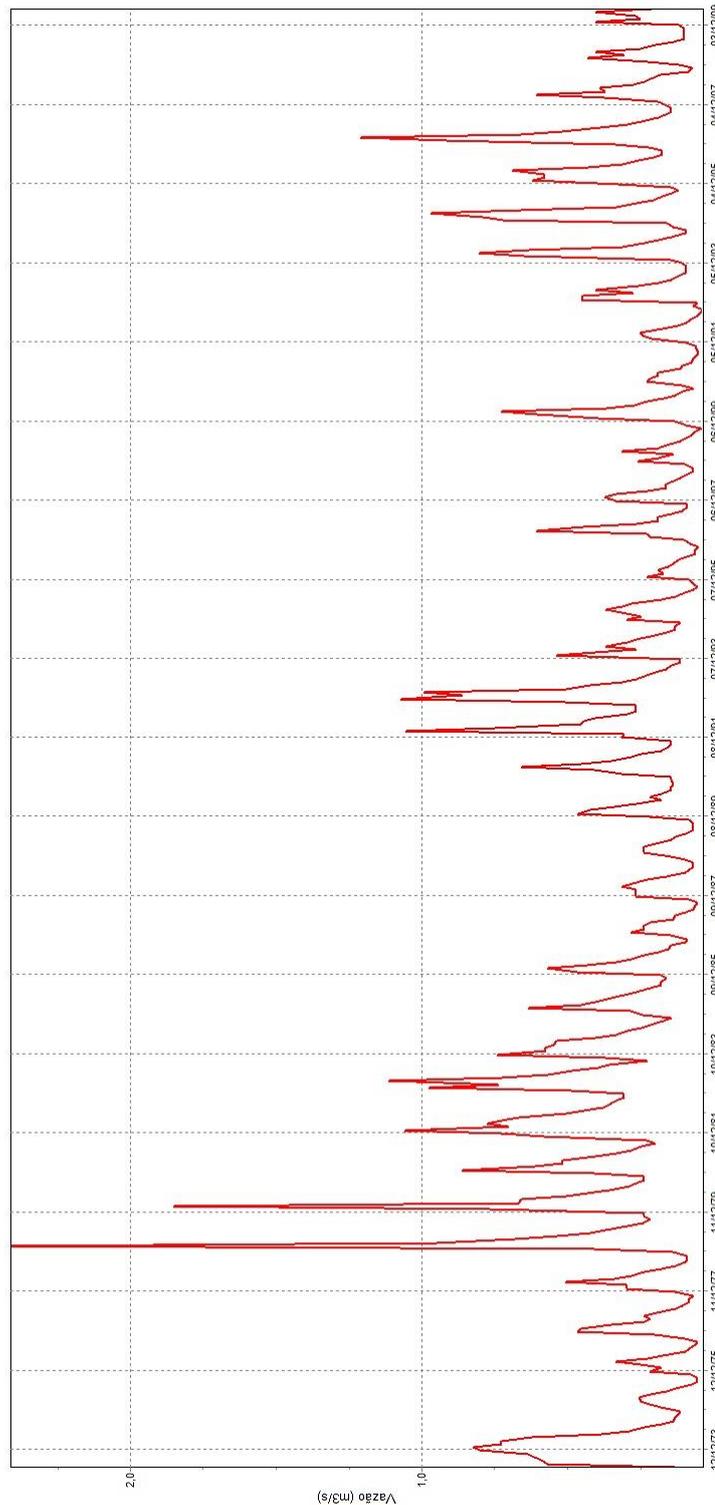


Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.6.4 VAZÕES MÍNIMAS

A ilustração abaixo mostra as vazões mínimas diárias que ocorreram nos meses de todo o período estudado de 07/1973 a 05/2010, sendo que o menor pico de vazão observado ocorreu no dia 19/10/2002, registrando  $0,035\text{m}^3/\text{s}$ .

Ilustração 4.9 - Vazão mínima diária registrada nos meses avaliados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a determinação da vazão mínima a ser deixada no curso d'água, também chamada de vazão ecológica ou sanitária, muitos estados utilizam a vazão  $Q_{7,10}$  para o cálculo.

A partir das vazões diárias de todo o período compreendido entre 07/1973 a 05/2010 foram calculadas as médias móveis de 7 dias. De posse dessas médias foi montada uma série histórica com os valores mínimos das médias móveis obtidas no passo anterior, que pode ser vista na tabela abaixo.

Tabela 4.9 – Vazões mínimas anuais com duração de 7 dias

| Parâmetros<br>=====                      |                        |
|--|------------------------|
| Série: (Média Diária, 07/1973 - 05/2010) |                        |
| Período: 1973 a 2010                     |                        |
| Duração t (dias): 7                      |                        |
| Vazões Mínimas                           |                        |
| Ano                                      | Qt (m <sup>3</sup> /s) |
| 1973                                     | 0,579                  |
| 1974                                     | 0,122                  |
| 1975                                     | 0,055                  |
| 1976                                     | 0,057                  |
| 1977                                     | 0,083                  |
| 1978                                     | 0,095                  |
| 1979                                     | 0,227                  |
| 1980                                     | 0,237                  |
| 1981                                     | 0,201                  |
| 1982                                     | 0,313                  |
| 1983                                     | 0,366                  |
| 1984                                     | 0,152                  |
| 1985                                     | 0,168                  |
| 1986                                     | 0,093                  |
| 1987                                     | 0,063                  |
| 1988                                     | 0,069                  |
| 1989                                     | 0,069                  |
| 1990                                     | 0,143                  |
| 1991                                     | 0,147                  |
| 1992                                     | 0,265                  |
| 1993                                     | 0,114                  |
| 1994                                     | 0,116                  |
| 1995                                     | 0,055                  |
| 1996                                     | 0,056                  |
| 1997                                     | 0,091                  |
| 1998                                     | 0,069                  |

|      |       |
|------|-------|
| 1999 | 0,043 |
| 2000 | 0,076 |
| 2001 | 0,058 |
| 2002 | 0,039 |
| 2003 | 0,094 |
| 2004 | 0,098 |
| 2005 | 0,125 |
| 2006 | 0,175 |
| 2007 | 0,147 |
| 2008 | 0,083 |
| 2009 | 0,107 |
| 2010 | 0,24  |

Fonte: Elaborado pelo autor.

As vazões mínimas obtidas a partir da tabela acima foram  $Q_{7,10}=0,028\text{m}^3/\text{s}$  e  $Q_{7,5}=0,049\text{m}^3/\text{s}$ . Para o estado de Minas Gerais, a vazão ecológica é 70% de  $Q_{7,10}$ , portanto  $0,0196\text{ m}^3/\text{s}$ .

A vazão ecológica é aquela que atende às exigências da biota enfocada, seja mantendo as condições existentes antes da intervenção antrópica, seja para garantir condições estabelecidas que busquem mitigar os impactos dessa intervenção. Trata-se da vazão mínima que deve ser mantida no trecho do curso d'água compreendido entre a tomada d'água e o canal de fuga da central.

As vazões máximas e mínimas de uma série histórica longa correspondem às máximas e mínimas anuais medidas no posto fluviométrico. As suas utilizações são para o dimensionamento da altura de vertimento do vertedouro, para o dimensionamento de obras civis e demais estruturas de um aproveitamento hidrelétrico.

## 5. ESTUDO ENERGÉTICO

“O estabelecimento de conceitos e convenções juntamente com a quantificação de cotas, volumes, riscos, quedas, potências e energias são os fundamentos básicos para que os estudos para implantação das centrais hidrelétricas possam ser realizados” Souza (2009).

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO APROVEITAMENTO

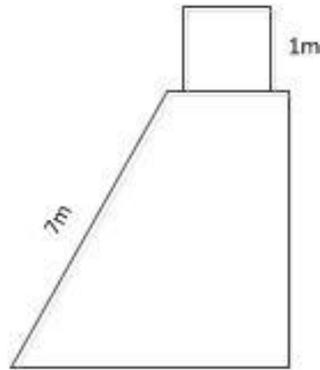
O potencial analisado abrigou uma micro usina hidrelétrica que há mais de 40 anos está desativada, entretanto algumas das estruturas existentes no local são passíveis de recuperação. Neste tipo de empreendimento, o impacto ambiental de sua implantação ocorreu à época da obra de construção, ou seja, a reativação possui um impacto ambiental menor e, à princípio, poderia ser tratado de forma simplificada. O reduzido impacto ambiental é um fator muito importante. Seguem abaixo ilustrações das estruturas existentes no local.

Ilustração 5.1 – Barragem de concreto e tomada d’água



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ilustração 5.2 – Corte transversal da barragem de concreto



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ilustração 5.3 – Primeira parte do canal de Adução



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ilustração 5.4 – Segunda parte do canal de Adução



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ilustração 5.5 - Desarenador



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ilustração 5.6 – Câmara de carga



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ilustração 5.7 – Conduto forçado



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ilustração 5.8 – Local da casa de máquinas com canal de fuga



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 5.2 QUEDA BRUTA

A queda bruta do aproveitamento é determinada pela diferença entre os níveis d'água na tomada d'água e no canal de fuga. No caso em questão, são três os desníveis do curso d'água que compõem a queda bruta. As ilustrações com os desníveis estão abaixo.

Ilustração 5.9 – Primeiro desnível



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ilustração 5.10 – Segundo desnível



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ilustração 5.11 – Terceiro desnível

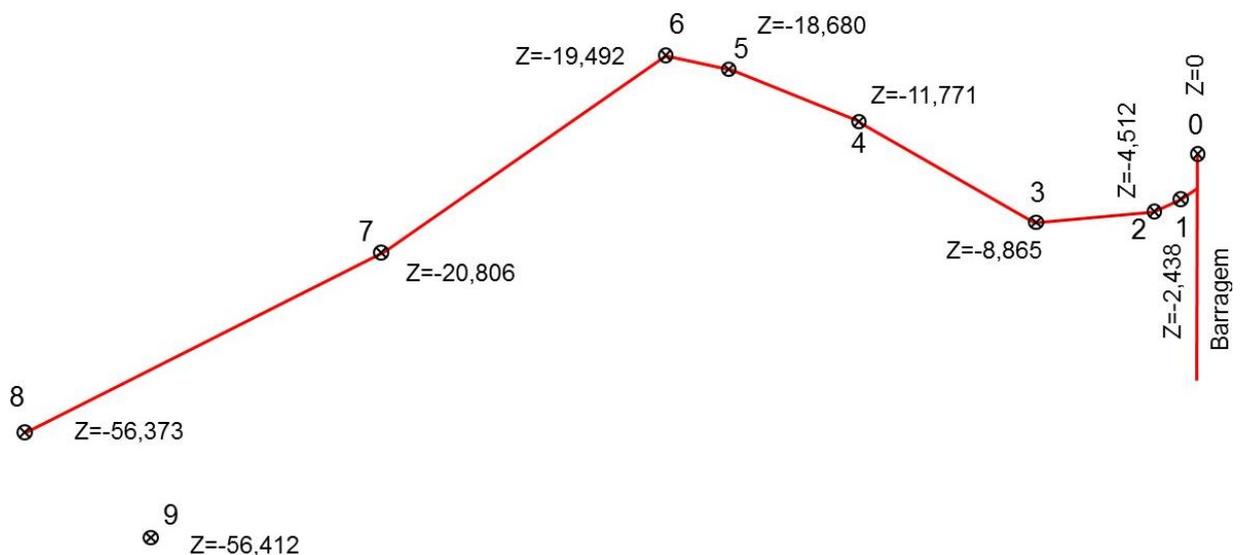


Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o levantamento da queda bruta foi realizada a topografia do trecho do curso d'água em análise com a utilização da estação total Geodetic G2 e a técnica de transposição de pontos.

Os pontos e linhas de visadas topográficos levantados na estação total estão na ilustração abaixo.

Ilustração 5.12 – Topografia do desnível total



Fonte: Elaborado pelo autor.

A medição de desnível do aproveitamento iniciou-se que a determinação da cota no ponto 0, definida como sendo o nível de referência, portando 0m de altura. A cota do ponto 0 é a cota do nível d'água da tomada d'água que aparece na ilustração 5.3

Em seguida foram selecionados 7 pontos intermediários situados em pontos fixos no leito do córrego, região esta que pode ser vista nas ilustrações 5.9 e 5.10. As cotas destes 7 pontos foram determinadas com a transposição sucessiva de pontos a partir do ponto 0.

A cota do ponto 8 é a queda bruta do aproveitamento e corresponde à cota do nível d'água que aparece na ilustração 5.11. A cota 9 é a cota da margem esquerda do nível d'água que aparece na mesma ilustração.

Das cotas determinadas verifica-se que  $Z=56,3m$ , ou seja, a queda bruta do aproveitamento em questão é de 56,3m.

### **5.3 TECNOLOGIA ADOTADA**

“O grupo gerador formado por uma turbina hidráulica, gerador e regulador de velocidade é um dos componentes mais importantes de uma central hidrelétrica, podendo representar até 40% de seu custo global”. Viana (2012).

Ainda Viana (2012) diz que o alto custo dos geradores recai principalmente sobre as turbinas hidráulicas, devido à existência de poucos fabricantes nacionais, e pelas especificidades de cada aproveitamento. Por outro lado, bombas hidráulicas são equipamentos produzidos em série, utilizadas amplamente na agricultura, no saneamento e na indústria, fazendo com que estes equipamentos sejam mais baratos quando comparados às turbinas.

Neste estudo adotaremos a tecnologia de BFT – Bombas Funcionando como Turbinas e utilizaremos o método Chapallaz para a escolha da bomba adequada ao aproveitamento. As bombas têm custo muito menor que as turbinas, uma vez que seu mercado consumidor é muito amplo, ocorrendo portanto produção em massa, o que não acontece com turbinas.

## 5.4 RENDIMENTO DO APROVEITAMENTO

O rendimento do aproveitamento depende da tecnologia adotada, no presente estudo de caso foram adotadas as seguintes premissas.

Tabela 5.1 – Rendimento das estruturas do aproveitamento

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| Queda Bruta (m)                     | 56,3    |
| Queda Líquida na BFT (m)            | 54,611  |
|                                     |         |
| Rendimento da Admissão              | 97,00%  |
| Rendimento Máximo Máquina Primária  | 85,00%  |
| Rendimento do Gerador               | 90,00%  |
| Rendimento do Acoplamento           | 100,00% |
| Rendimento da Transformação         | 99,00%  |
| Rendimento da Conexão e Transmissão | 99,00%  |
| Rendimento dos Serviços Auxiliares  | 98,50%  |
|                                     |         |
| Rendimento Máximo do Aproveitamento | 71,64%  |

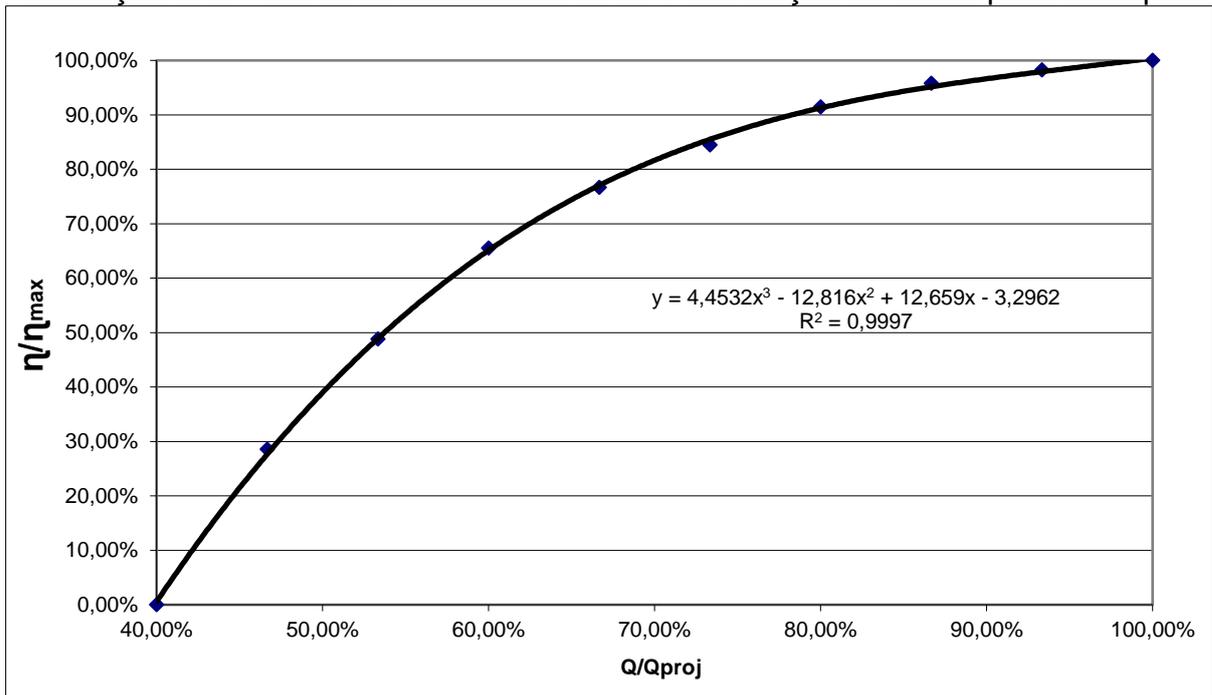
Fonte: Elaborado pelo autor.

De acordo com Souza (2009) podemos adotar uma perda de 3% de queda bruta, em cálculos preliminares, para representar o sistema de admissão com comprimento variando de 80m a 300m. No caso em questão a admissão possui comprimento aproximado de 300m, portanto adotamos esta premissa nos cálculos.

Segundo Viana (2012), “*O rendimento da BFT será considerado o mesmo da bomba no ponto selecionado (retirado do catálogo do fabricante)*”, assim foram escolhidas bombas centrífugas com corpo espiral dividido radialmente, uso geral fabricante KSB Meganorm, que possuem rendimento máximo de 85% no ponto de operação selecionado.

A partir de D. D. S. Alves (2009) foi levantada a curva de rendimento da BFT em função da vazão de projeto para uma rotação de 1800 rpm. A curva obtida por ajustamento polinomial encontra-se abaixo.

Ilustração 5.13 - Curva de rendimento da BFT em função da vazão para 1800rpm.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Devido à rede rural monofásica, para simples efeito de simulação, foram escolhidos alternadores síncronos auto-excitados monofásicos 220V da marca WEG, com reguladores de tensão incorporados. Estas máquinas por serem auto-excitadas e de pequeno porte possuem um rendimento da ordem de 90%. Caso haja prosseguimento da reativação da central, a escolha dos geradores dependerá dos entendimentos com distribuidora de energia elétrica da região.

O acoplamento entre gerador e BFT é direto, portanto, não há perdas no acoplamento, já a perda na elevação de tensão para conexão na rede de distribuição monofásica rural de 13,8Kv é em torno de 1%, já que foram selecionados transformadores monofásicos com retorno à terra (MRT) em paralelo.

A perda por aquecimento na conexão e transmissão do sistema de baixa tensão, antes da elevação, pode ser estimada em 1%, já a perda para manutenção dos sistemas auxiliares, como contadoras, IHMs e demais dispositivos de automação gira em torno de 1,5%.

## 5.5 ESTUDO DE MOTORIZAÇÃO

As vazões de projeto utilizadas no estudo de motorização correspondem aos pontos de superação de vazões da curva de permanência, sendo que foi avaliada a produção de energia em cada um dos pontos utilizando a tecnologia BFT.

Para elaborar o mapa de geração de energia do aproveitamento foram estabelecidas algumas condições operativas e realizadas algumas simulações. As vazões utilizadas nas simulações foram obtidas com a técnica da transposição de vazões, portanto trazem consigo incertezas de um posto fluviométrico próximo, entretanto todas as demais condições operativas são realistas e tem como base dados extraídos de ensaios realizados em equipamentos, dados de *datasheets* de fabricantes e medições *in-loco* no aproveitamento.

- a) A vazão mínima turbinada pela BFT é de 40% da vazão de projeto, como pode ser visto na Ilustração 5.13.
- b) A vazão ecológica ou sanitária é 70% da vazão Q7,10.
- c) O intervalo temporal da curva de permanência de vazões representa 5% do tempo histórico, com a respectiva probabilidade de superação de vazão.
- d) Para avaliação da produção de energia foi utilizado um ano com 8760h, o que leva a um intervalo temporal da curva de permanência de vazões da ordem de 438h, correspondendo a 5% das 8760h anuais.
- e) A vazão a ser turbinada em cada intervalo de tempo da curva de permanência de vazões é a média das vazões de superação do intervalo, subtraída a vazão ecológica ou sanitária a ser mantida no curso d'água.
- f) A queda bruta do aproveitamento é mantida constante ao longo do ano.
- g) A aceleração da gravidade para a localidade em questão é 9,78277.
- h) A massa especificada da água é 0,9982, considerando uma temperatura de 20 °C.
- i) O rendimento variável da BFT para a vazão a ser turbinada em cada intervalo da curva de permanência foi determinado pelo polinômio da ilustração 5.13.

- j) Pela tabela 5.1 temos que o rendimento máximo do aproveitamento é 71,64%, quando a BFT opera no ponto de projeto com 85% de eficiência.
- k) O rendimento do aproveitamento para cada intervalo da curva de permanência é calculado levando em consideração a média das vazões de superação de cada intervalo da curva, subtraída a vazão ecológica ou sanitária a ser mantida no curso d'água.

A seleção de bombas no estudo de motorização utilizou o método de Chapallaz, citado por Viana (2012). No caso foram escolhidas bombas de rotor simples, um estágio, fluxo radial e simples sucção.

A tabela seguinte mostra o rendimento do aproveitamento levando em consideração os rendimentos e as condições operativas descritas nos itens anteriores, para cada uma das vazões de projeto da curva de permanência.

Tabela 5.2 – Rendimento do aproveitamento para os intervalos da curva de permanência de vazões

|                         |                               |        | <b>Máx</b> | <b>71,64%</b> |        |        |        |        |        |        |        |       |
|-------------------------|-------------------------------|--------|------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Vazão de Projeto (m³/s) | Vazão Mínima Turbinada (m³/s) | 1      | 2          | 3             | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     |       |
| 5,89                    | 2,36                          | 0,00%  | 0,00%      | 0,00%         | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 1,57                    | 0,63                          | 0,00%  | 0,00%      | 0,00%         | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 1,10                    | 0,44                          | 69,53% | 69,53%     | 66,35%        | 58,59% | 46,67% | 28,50% | 9,38%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 0,88                    | 0,35                          | 69,78% | 69,78%     | 69,78%        | 67,40% | 61,59% | 50,00% | 35,10% | 19,94% | 4,43%  | 0,00%  | 0,00% |
| 0,76                    | 0,30                          | 66,58% | 66,58%     | 66,58%        | 66,58% | 63,76% | 56,96% | 46,51% | 34,51% | 21,30% | 7,81%  | 0,00% |
| 0,63                    | 0,25                          | 73,32% | 73,32%     | 73,32%        | 73,32% | 73,32% | 70,23% | 63,94% | 55,17% | 44,03% | 31,52% | 0,00% |
| 0,53                    | 0,21                          | 70,37% | 70,37%     | 70,37%        | 70,37% | 70,37% | 70,37% | 67,65% | 63,01% | 56,12% | 47,21% | 0,00% |
| 0,46                    | 0,18                          | 68,27% | 68,27%     | 68,27%        | 68,27% | 68,27% | 68,27% | 68,27% | 65,68% | 61,63% | 55,78% | 0,00% |
| 0,41                    | 0,16                          | 68,27% | 68,27%     | 68,27%        | 68,27% | 68,27% | 68,27% | 68,27% | 68,27% | 65,55% | 61,81% | 0,00% |
| 0,36                    | 0,14                          | 68,27% | 68,27%     | 68,27%        | 68,27% | 68,27% | 68,27% | 68,27% | 68,27% | 68,27% | 65,61% | 0,00% |
| 0,33                    | 0,13                          | 67,42% | 67,42%     | 67,42%        | 67,42% | 67,42% | 67,42% | 67,42% | 67,42% | 67,42% | 67,26% | 0,00% |
| 0,29                    | 0,12                          | 64,05% | 64,05%     | 64,05%        | 64,05% | 64,05% | 64,05% | 64,05% | 64,05% | 64,05% | 64,05% | 0,00% |
| 0,26                    | 0,10                          | 71,64% | 71,64%     | 71,64%        | 71,64% | 71,64% | 71,64% | 71,64% | 71,64% | 71,64% | 71,64% | 0,00% |
| 0,24                    | 0,09                          | 70,79% | 70,79%     | 70,79%        | 70,79% | 70,79% | 70,79% | 70,79% | 70,79% | 70,79% | 70,79% | 0,00% |
| 0,21                    | 0,08                          | 68,69% | 68,69%     | 68,69%        | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 0,00% |
| 0,19                    | 0,08                          | 68,18% | 68,18%     | 68,18%        | 68,18% | 68,18% | 68,18% | 68,18% | 68,18% | 68,18% | 68,18% | 0,00% |
| 0,16                    | 0,06                          | 70,79% | 70,79%     | 70,79%        | 70,79% | 70,79% | 70,79% | 70,79% | 70,79% | 70,79% | 70,79% | 0,00% |
| 0,14                    | 0,06                          | 68,69% | 68,69%     | 68,69%        | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 0,00% |
| 0,12                    | 0,05                          | 63,21% | 63,21%     | 63,21%        | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 0,00% |
| 0,09                    | 0,03                          | 63,21% | 63,21%     | 63,21%        | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 0,00% |
| 0,05                    | 0,02                          | 0,00%  | 0,00%      | 0,00%         | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5.2 - Rendimento do aproveitamento para os intervalos da curva de permanência de vazões

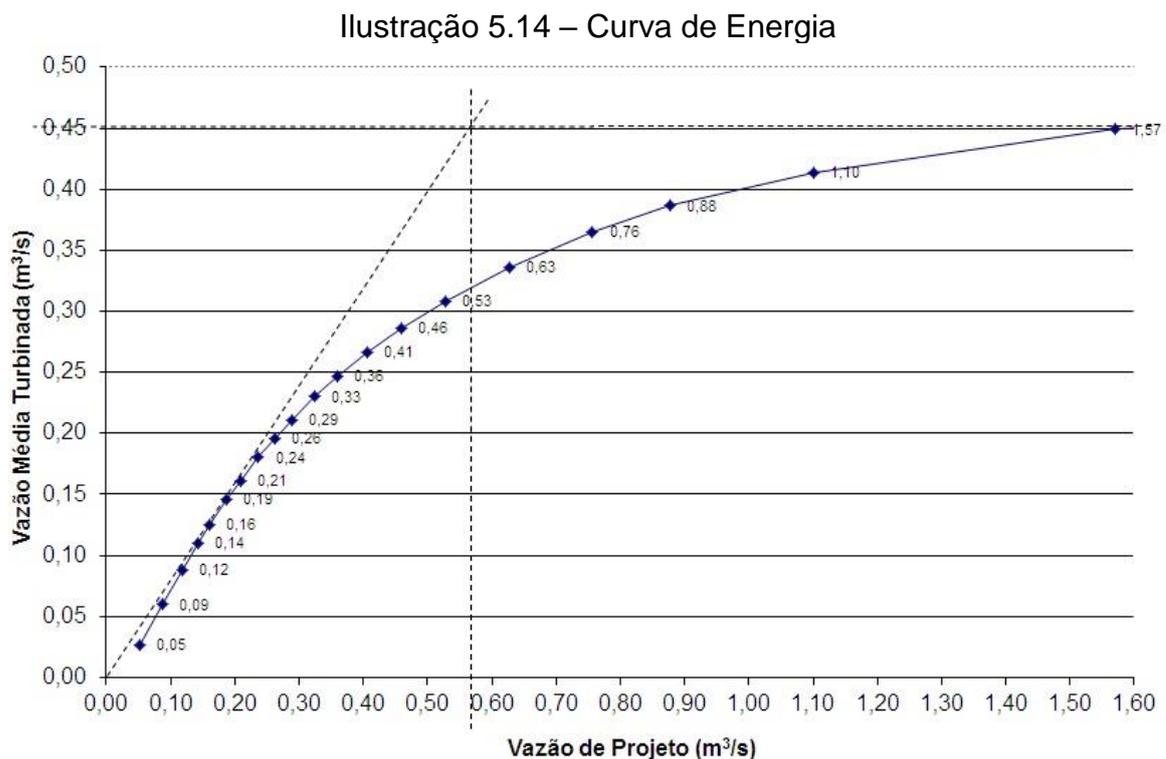
|                         |                               |        | <b>Máx</b> | <b>71,64%</b> |        |        |        |        |        |        |        |       |
|-------------------------|-------------------------------|--------|------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Vazão de Projeto (m³/s) | Vazão Mínima Turbinada (m³/s) | 11     | 12         | 13            | 14     | 15     | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     |       |
| 5,89                    | 2,36                          | 0,00%  | 0,00%      | 0,00%         | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 1,57                    | 0,63                          | 0,00%  | 0,00%      | 0,00%         | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 1,10                    | 0,44                          | 0,00%  | 0,00%      | 0,00%         | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 0,88                    | 0,35                          | 0,00%  | 0,00%      | 0,00%         | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 0,76                    | 0,30                          | 0,00%  | 0,00%      | 0,00%         | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 0,63                    | 0,25                          | 17,58% | 2,60%      | 0,00%         | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 0,53                    | 0,21                          | 36,27% | 23,62%     | 10,81%        | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 0,46                    | 0,18                          | 47,70% | 37,52%     | 26,54%        | 12,58% | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 0,41                    | 0,16                          | 56,15% | 48,22%     | 38,99%        | 26,56% | 11,91% | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 0,36                    | 0,14                          | 61,96% | 56,39%     | 49,23%        | 38,78% | 25,68% | 9,06%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 0,33                    | 0,13                          | 64,43% | 60,65%     | 55,41%        | 47,08% | 35,84% | 20,77% | 2,36%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 0,29                    | 0,12                          | 63,92% | 61,24%     | 58,01%        | 52,36% | 43,90% | 31,56% | 15,48% | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 0,26                    | 0,10                          | 71,64% | 71,01%     | 68,24%        | 63,82% | 56,59% | 45,03% | 28,85% | 7,42%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 0,24                    | 0,09                          | 70,79% | 70,79%     | 70,00%        | 66,79% | 61,75% | 52,83% | 39,11% | 19,64% | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 0,21                    | 0,08                          | 68,69% | 68,69%     | 68,69%        | 68,00% | 64,72% | 59,01% | 48,91% | 32,82% | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |
| 0,19                    | 0,08                          | 68,18% | 68,18%     | 68,18%        | 68,18% | 66,96% | 63,03% | 55,77% | 42,66% | 11,98% | 0,00%  | 0,00% |
| 0,16                    | 0,06                          | 70,79% | 70,79%     | 70,79%        | 70,79% | 70,79% | 69,80% | 65,38% | 56,50% | 30,59% | 0,00%  | 0,00% |
| 0,14                    | 0,06                          | 68,69% | 68,69%     | 68,69%        | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 66,80% | 61,15% | 41,42% | 0,00%  | 0,00% |
| 0,12                    | 0,05                          | 63,21% | 63,21%     | 63,21%        | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 61,80% | 51,57% | 7,56%  | 0,00% |
| 0,09                    | 0,03                          | 63,21% | 63,21%     | 63,21%        | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 62,10% | 38,05% | 0,00% |
| 0,05                    | 0,02                          | 0,00%  | 0,00%      | 0,00%         | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A energia produzida também foi dividida em 438h de operação para cada intervalo da curva de permanência de vazões, o que representa 8760h em um ano de geração. Para o cálculo da energia gerada em cada intervalo foram utilizados o rendimento do aproveitamento no intervalo e a vazão turbinada no mesmo intervalo. A vazão turbinada no intervalo é a média das vazões de superação de cada intervalo da curva, subtraída a vazão ecológica ou sanitária a ser mantida no curso d'água.

Quando a vazão turbinada no intervalo está acima da vazão de projeto, foi adotada vazão turbinada igual à vazão de projeto para o cálculo da energia gerada e, quando a vazão turbinada está abaixo da vazão mínima, a vazão turbinada é considerada nula para o cálculo da energia gerada.

A curva de energia relaciona a vazão de projeto, que corresponde aos pontos de superação da curva de permanência, com a vazão média a ser turbinada naquele ponto. A curva de energia pode ser vista abaixo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pelas assíntotas traçadas na curva acima temos que a vazão expedita ótima de projeto é  $0,57\text{m}^3/\text{s}$ . Esta vazão é uma estimativa inicial.

A produção anual de energia estimada para cada uma das vazões de projeto associadas à curva de permanência consta na tabela abaixo.

Tabela 5.3 – Mapa de produção de energia anual (kWh) para as vazões de projeto

|                         |                                     | 0%         | 5%         | 10%        | 15%        | 20%        | 25%       | 30%       | 35%       | 40%       |
|-------------------------|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| BFT                     | Vazão de Permanência (m³/s)         | 5,890      | 1,570      | 1,100      | 0,878      | 0,757      | 0,628     | 0,528     | 0,459     | 0,406     |
|                         | Vazão Disponível Intervalo (m³/s)   | 3,710      | 1,315      | 0,969      | 0,798      | 0,673      | 0,558     | 0,474     | 0,413     | 0,363     |
| Vazão Mínima Adotada    | Vazão Ecológica ou Sanitária (m³/s) | 0,020      | 0,020      | 0,020      | 0,020      | 0,020      | 0,020     | 0,020     | 0,020     | 0,020     |
| 40,00%                  | Queda Bruta (m)                     | 56,300     | 56,300     | 56,300     | 56,300     | 56,300     | 56,300    | 56,300    | 56,300    | 56,300    |
|                         | Aceleração da Gravidade             | 9,783      | 9,783      | 9,783      | 9,783      | 9,783      | 9,783     | 9,783     | 9,783     | 9,783     |
|                         | Massa Específica                    | 0,998      | 0,998      | 0,998      | 0,998      | 0,998      | 0,998     | 0,998     | 0,998     | 0,998     |
| Vazão de Projeto (m³/s) | Vazão Mínima Turbinada (m³/s)       | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          | 6         | 7         | 8         | 9         |
| 5,89                    | 2,36                                | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 1,57                    | 0,63                                | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |
| 1,10                    | 0,44                                | 184.175,03 | 184.175,03 | 154.892,53 | 112.563,65 | 75.618,36  | 38.323,16 | 10.704,41 | 0,00      | 0,00      |
| 0,88                    | 0,35                                | 147.539,72 | 147.539,72 | 147.539,72 | 129.503,99 | 99.798,31  | 67.233,41 | 40.060,35 | 19.829,51 | 3.880,76  |
| 0,76                    | 0,30                                | 121.368,81 | 121.368,81 | 121.368,81 | 121.368,81 | 103.316,58 | 76.597,76 | 53.074,07 | 34.313,66 | 18.643,33 |
| 0,63                    | 0,25                                | 110.882,50 | 110.882,50 | 110.882,50 | 110.882,50 | 110.882,50 | 94.429,88 | 72.969,55 | 54.853,60 | 38.531,66 |
| 0,53                    | 0,21                                | 89.475,58  | 89.475,58  | 89.475,58  | 89.475,58  | 89.475,58  | 89.475,58 | 77.200,20 | 62.653,41 | 49.105,33 |
| 0,46                    | 0,18                                | 75.453,92  | 75.453,92  | 75.453,92  | 75.453,92  | 75.453,92  | 75.453,92 | 75.453,92 | 65.306,11 | 53.933,41 |
| 0,41                    | 0,16                                | 66.741,38  | 66.741,38  | 66.741,38  | 66.741,38  | 66.741,38  | 66.741,38 | 66.741,38 | 66.741,38 | 57.365,42 |
| 0,36                    | 0,14                                | 59.179,55  | 59.179,55  | 59.179,55  | 59.179,55  | 59.179,55  | 59.179,55 | 59.179,55 | 59.179,55 | 59.179,55 |
| 0,33                    | 0,13                                | 52.766,40  | 52.766,40  | 52.766,40  | 52.766,40  | 52.766,40  | 52.766,40 | 52.766,40 | 52.766,40 | 52.766,40 |
| 0,29                    | 0,12                                | 44.575,43  | 44.575,43  | 44.575,43  | 44.575,43  | 44.575,43  | 44.575,43 | 44.575,43 | 44.575,43 | 44.575,43 |
| 0,26                    | 0,10                                | 45.196,45  | 45.196,45  | 45.196,45  | 45.196,45  | 45.196,45  | 45.196,45 | 45.196,45 | 45.196,45 | 45.196,45 |
| 0,24                    | 0,09                                | 40.402,83  | 40.402,83  | 40.402,83  | 40.402,83  | 40.402,83  | 40.402,83 | 40.402,83 | 40.402,83 | 40.402,83 |
| 0,21                    | 0,08                                | 34.569,09  | 34.569,09  | 34.569,09  | 34.569,09  | 34.569,09  | 34.569,09 | 34.569,09 | 34.569,09 | 34.569,09 |
| 0,19                    | 0,08                                | 30.866,72  | 30.866,72  | 30.866,72  | 30.866,72  | 30.866,72  | 30.866,72 | 30.866,72 | 30.866,72 | 30.866,72 |
| 0,16                    | 0,06                                | 27.446,65  | 27.446,65  | 27.446,65  | 27.446,65  | 27.446,65  | 27.446,65 | 27.446,65 | 27.446,65 | 27.446,65 |
| 0,14                    | 0,06                                | 23.652,54  | 23.652,54  | 23.652,54  | 23.652,54  | 23.652,54  | 23.652,54 | 23.652,54 | 23.652,54 | 23.652,54 |
| 0,12                    | 0,05                                | 17.960,87  | 17.960,87  | 17.960,87  | 17.960,87  | 17.960,87  | 17.960,87 | 17.960,87 | 17.960,87 | 17.960,87 |
| 0,09                    | 0,03                                | 13.242,34  | 13.242,34  | 13.242,34  | 13.242,34  | 13.242,34  | 13.242,34 | 13.242,34 | 13.242,34 | 13.242,34 |
| 0,05                    | 0,02                                | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00       | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5.3 - Mapa de produção de energia anual (kWh) para as vazões de projeto

| 45%       | 50%       | 55%       | 60%       | 65%       | 70%       | 75%       | 80%       | 85%       | 90%       | 95%      | 100%       |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|------------|
| 0,360     | 0,325     | 0,289     | 0,262     | 0,237     | 0,209     | 0,188     | 0,161     | 0,143     | 0,118     | 0,087    | 0,053      |
| 0,323     | 0,287     | 0,256     | 0,230     | 0,203     | 0,179     | 0,155     | 0,132     | 0,111     | 0,083     | 0,050    | -          |
| 0,020     | 0,020     | 0,020     | 0,020     | 0,020     | 0,020     | 0,020     | 0,020     | 0,020     | 0,020     | 0,020    | -          |
| 56,300    | 56,300    | 56,300    | 56,300    | 56,300    | 56,300    | 56,300    | 56,300    | 56,300    | 56,300    | 56,300   | -          |
| 9,783     | 9,783     | 9,783     | 9,783     | 9,783     | 9,783     | 9,783     | 9,783     | 9,783     | 9,783     | 9,783    | -          |
| 0,998     | 0,998     | 0,998     | 0,998     | 0,998     | 0,998     | 0,998     | 0,998     | 0,998     | 0,998     | 0,998    | -          |
| 10        | 11        | 12        | 13        | 14        | 15        | 16        | 17        | 18        | 19        | 20       | Energia    |
| 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00     | 0,00       |
| 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00     | 0,00       |
| 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00     | 760.452,17 |
| 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00     | 802.925,51 |
| 6.072,96  | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00     | 777.493,59 |
| 24.506,23 | 12.167,83 | 1.601,00  | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00     | 853.472,25 |
| 36.707,44 | 25.098,98 | 14.556,00 | 5.983,89  | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00     | 808.158,72 |
| 43.370,57 | 33.012,49 | 23.118,51 | 14.690,75 | 6.162,41  | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00     | 767.771,70 |
| 48.062,45 | 38.856,55 | 29.713,65 | 21.587,00 | 13.009,45 | 5.130,73  | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00     | 747.656,26 |
| 51.013,69 | 42.880,51 | 34.746,63 | 27.252,32 | 18.996,45 | 11.062,68 | 3.378,84  | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00     | 721.947,03 |
| 52.295,61 | 44.592,45 | 37.375,06 | 30.676,33 | 23.057,13 | 15.438,21 | 7.748,66  | 752,21    | 0,00      | 0,00      | 0,00     | 686.833,26 |
| 44.575,43 | 44.234,47 | 37.739,78 | 32.112,08 | 25.645,87 | 18.912,20 | 11.772,73 | 4.933,88  | 0,00      | 0,00      | 0,00     | 621.105,32 |
| 45.196,45 | 45.196,45 | 43.757,35 | 37.779,35 | 31.259,52 | 24.379,57 | 16.797,35 | 9.199,46  | 1.982,72  | 0,00      | 0,00     | 662.316,29 |
| 40.402,83 | 40.402,83 | 40.402,83 | 38.752,96 | 32.713,18 | 26.603,16 | 19.704,40 | 12.468,63 | 5.244,95  | 0,00      | 0,00     | 620.321,20 |
| 34.569,09 | 34.569,09 | 34.569,09 | 34.569,09 | 33.304,59 | 27.882,96 | 22.011,22 | 15.594,23 | 8.764,17  | 0,00      | 0,00     | 556.955,41 |
| 30.866,72 | 30.866,72 | 30.866,72 | 30.866,72 | 30.866,72 | 28.845,56 | 23.511,57 | 17.782,14 | 11.393,19 | 2.391,65  | 0,00     | 516.058,19 |
| 27.446,65 | 27.446,65 | 27.446,65 | 27.446,65 | 27.446,65 | 27.446,65 | 26.034,16 | 20.844,70 | 15.089,66 | 6.105,91  | 0,00     | 479.774,11 |
| 23.652,54 | 23.652,54 | 23.652,54 | 23.652,54 | 23.652,54 | 23.652,54 | 23.652,54 | 21.297,40 | 16.329,75 | 8.267,57  | 0,00     | 424.335,34 |
| 17.960,87 | 17.960,87 | 17.960,87 | 17.960,87 | 17.960,87 | 17.960,87 | 17.960,87 | 17.960,87 | 16.504,36 | 10.295,20 | 917,95   | 333.052,31 |
| 13.242,34 | 13.242,34 | 13.242,34 | 13.242,34 | 13.242,34 | 13.242,34 | 13.242,34 | 13.242,34 | 13.242,34 | 12.397,73 | 4.618,28 | 255.378,07 |
| 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,00     | 0,00       |

Fonte: Elaborado pelo autor.

De posse da estimativa de energia a ser produzida anualmente, é possível determinar as potências da central e o seu fator de capacidade para cada vazão de projeto. A tabela abaixo mostra esses cálculos.

Tabela 5.4 - Motorização para vazões de projeto

| DMU | DPD (%) | Vazão de Projeto (m <sup>3</sup> /s) | Vazão Média Turbinada (m <sup>3</sup> /s) | Fator de Capacidade | Potência Bruta (kW) | Potência Hidráulica (kW) | Potência no Eixo (kW) | Potência do Gerador (kW) | Potência Elétrica (kW) | Energia Anual (kWh) | Energia (kWh) |
|-----|---------|--------------------------------------|---|---------------------|---------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|---------------------|---------------|
| 1   | 0%      | 5,89                                 | 0,56                                      | 0,00                | 3.238,21            | 3.141,06                 | 2.669,90              | 2.402,91                 | 2.343,20               | 0,00                | 0,00          |
| 2   | 5%      | 1,57                                 | 0,45                                      | 0,00                | 863,16              | 837,26                   | 711,67                | 640,50                   | 624,59                 | 0,00                | 0,00          |
| 3   | 10%     | 1,10                                 | 0,41                                      | 0,20                | 604,76              | 586,62                   | 498,62                | 448,76                   | 437,61                 | 760.452,17          | 86,81         |
| 4   | 15%     | 0,88                                 | 0,39                                      | 0,26                | 482,71              | 468,23                   | 397,99                | 358,19                   | 349,29                 | 802.925,51          | 91,66         |
| 5   | 20%     | 0,76                                 | 0,37                                      | 0,29                | 416,18              | 403,70                   | 343,14                | 308,83                   | 301,15                 | 777.493,59          | 88,75         |
| 6   | 25%     | 0,63                                 | 0,34                                      | 0,39                | 345,26              | 334,90                   | 284,67                | 256,20                   | 249,84                 | 853.472,25          | 97,43         |
| 7   | 30%     | 0,53                                 | 0,31                                      | 0,44                | 290,28              | 281,58                   | 239,34                | 215,41                   | 210,05                 | 808.158,72          | 92,26         |
| 8   | 35%     | 0,46                                 | 0,29                                      | 0,48                | 252,35              | 244,78                   | 208,06                | 187,26                   | 182,60                 | 767.771,70          | 87,65         |
| 9   | 40%     | 0,41                                 | 0,27                                      | 0,53                | 223,21              | 216,51                   | 184,04                | 165,63                   | 161,52                 | 747.656,26          | 85,35         |
| 10  | 45%     | 0,36                                 | 0,25                                      | 0,58                | 197,92              | 191,98                   | 163,19                | 146,87                   | 143,22                 | 721.947,03          | 82,41         |
| 11  | 50%     | 0,33                                 | 0,23                                      | 0,61                | 178,68              | 173,32                   | 147,32                | 132,59                   | 129,29                 | 686.833,26          | 78,41         |
| 12  | 55%     | 0,29                                 | 0,21                                      | 0,62                | 158,89              | 154,12                   | 131,00                | 117,90                   | 114,97                 | 621.105,32          | 70,90         |
| 13  | 60%     | 0,26                                 | 0,20                                      | 0,73                | 144,04              | 139,72                   | 118,76                | 106,89                   | 104,23                 | 662.316,29          | 75,61         |
| 14  | 65%     | 0,24                                 | 0,18                                      | 0,75                | 130,30              | 126,39                   | 107,43                | 96,69                    | 94,28                  | 620.321,20          | 70,81         |
| 15  | 70%     | 0,21                                 | 0,16                                      | 0,76                | 114,90              | 111,46                   | 94,74                 | 85,26                    | 83,15                  | 556.955,41          | 63,58         |
| 16  | 75%     | 0,19                                 | 0,15                                      | 0,79                | 103,36              | 100,26                   | 85,22                 | 76,70                    | 74,79                  | 516.058,19          | 58,91         |
| 17  | 80%     | 0,16                                 | 0,13                                      | 0,86                | 88,51               | 85,86                    | 72,98                 | 65,68                    | 64,05                  | 479.774,11          | 54,77         |
| 18  | 85%     | 0,14                                 | 0,11                                      | 0,85                | 78,62               | 76,26                    | 64,82                 | 58,34                    | 56,89                  | 424.335,34          | 48,44         |
| 19  | 90%     | 0,12                                 | 0,09                                      | 0,81                | 64,87               | 62,93                    | 53,49                 | 48,14                    | 46,94                  | 333.052,31          | 38,02         |
| 20  | 95%     | 0,09                                 | 0,06                                      | 0,84                | 47,83               | 46,40                    | 39,44                 | 35,49                    | 34,61                  | 255.378,07          | 29,15         |
| 21  | 100%    | 0,05                                 | 0,03                                      | 0,00                | 29,14               | 28,26                    | 24,02                 | 21,62                    | 21,08                  | 0,00                | 0,00          |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A escolha da BFT para cada vazão de projeto foi realizada utilizando o método Chapallaz, citado por Viana (2012), e pode ser vista na tabela abaixo.

Tabela 5.5 - Seleção de BFT pelo método de Chapallaz

| DMU | DPD (%) | Rotação da BFT (rpm) | Rotação Nominal Bomba (rpm) | Rotação Específica BFT (Nqt) | Rotação Específica Bomba (Nqb) | Vazão Estimada Bomba (Qnb) | Rendimento Estimado Bomba (%) | Fator de Conversão de Altura (Ka) | Fator de Conversão de Vazão (Kq) | Vazão Nominal Bomba (Qnc) | Queda Líquida Bomba (Hc) | Rendimento Máximo BFT (%) |
|-----|---------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1   | 0%      | 1.800                | 1.750                       | 217,46                       | 244,33                         | 4,53                       |                               |                                   |                                  |                           |                          |                           |
| 2   | 5%      | 1.800                | 1.750                       | 112,27                       | 126,15                         | 1,21                       |                               |                                   |                                  |                           |                          |                           |
| 3   | 10%     | 1.800                | 1.750                       | 93,97                        | 105,59                         | 0,85                       | 86,60%                        | 1,41                              | 1,29                             | 0,83                      | 36,61                    | 82,50%                    |
| 4   | 15%     | 1.800                | 1.750                       | 83,96                        | 94,33                          | 0,68                       | 86,90%                        | 1,39                              | 1,25                             | 0,68                      | 37,14                    | 82,80%                    |
| 5   | 20%     | 1.800                | 1.750                       | 77,96                        | 87,59                          | 0,58                       | 87,20%                        | 1,31                              | 1,24                             | 0,59                      | 39,40                    | 79,00%                    |
| 6   | 25%     | 1.800                | 1.750                       | 71,01                        | 79,78                          | 0,48                       | 87,00%                        | 1,31                              | 1,23                             | 0,50                      | 39,40                    | 87,00%                    |
| 7   | 30%     | 1.800                | 1.750                       | 65,11                        | 73,15                          | 0,41                       | 87,20%                        | 1,30                              | 1,22                             | 0,42                      | 39,71                    | 83,50%                    |
| 8   | 35%     | 1.800                | 1.750                       | 60,70                        | 68,21                          | 0,35                       | 87,20%                        | 1,29                              | 1,21                             | 0,37                      | 40,01                    | 81,00%                    |
| 9   | 40%     | 1.800                | 1.750                       | 57,09                        | 64,15                          | 0,31                       | 87,00%                        | 1,27                              | 1,25                             | 0,32                      | 40,65                    | 81,00%                    |
| 10  | 45%     | 1.800                | 1.750                       | 53,76                        | 60,41                          | 0,28                       | 87,00%                        | 1,26                              | 1,20                             | 0,29                      | 40,97                    | 81,00%                    |
| 11  | 50%     | 1.800                | 1.750                       | 51,08                        | 57,39                          | 0,25                       | 86,90%                        | 1,25                              | 1,20                             | 0,26                      | 41,30                    | 80,00%                    |
| 12  | 55%     | 1.800                | 1.750                       | 48,17                        | 54,12                          | 0,22                       | 86,50%                        | 1,25                              | 1,20                             | 0,23                      | 41,30                    | 76,00%                    |
| 13  | 60%     | 1.800                | 1.750                       | 45,86                        | 51,53                          | 0,20                       | 86,00%                        | 1,26                              | 1,21                             | 0,21                      | 40,97                    | 85,00%                    |
| 14  | 65%     | 1.800                | 1.750                       | 43,62                        | 49,01                          | 0,18                       | 85,90%                        | 1,29                              | 1,21                             | 0,19                      | 40,01                    | 84,00%                    |
| 15  | 70%     | 1.800                | 1.750                       | 40,96                        | 46,03                          | 0,16                       | 85,50%                        | 1,29                              | 1,21                             | 0,17                      | 40,01                    | 81,50%                    |
| 16  | 75%     | 1.800                | 1.750                       | 38,85                        | 43,65                          | 0,14                       | 85,00%                        | 1,28                              | 1,20                             | 0,15                      | 40,33                    | 80,90%                    |
| 17  | 80%     | 1.800                | 1.750                       | 35,95                        | 40,40                          | 0,12                       | 84,50%                        | 1,29                              | 1,21                             | 0,13                      | 40,01                    | 84,00%                    |
| 18  | 85%     | 1.800                | 1.750                       | 33,88                        | 38,07                          | 0,11                       | 84,00%                        | 1,29                              | 1,22                             | 0,11                      | 40,01                    | 81,50%                    |
| 19  | 90%     | 1.800                | 1.750                       | 30,78                        | 34,58                          | 0,09                       | 82,10%                        | 1,36                              | 1,23                             | 0,09                      | 37,96                    | 75,00%                    |
| 20  | 95%     | 1.800                | 1.750                       | 26,43                        | 29,69                          | 0,07                       | 80,00%                        | 1,42                              | 1,28                             | 0,07                      | 36,35                    | 75,00%                    |
| 21  | 100%    | 1.800                | 1.750                       | 20,63                        | 23,18                          | 0,04                       |                               |                                   |                                  |                           |                          |                           |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a elaboração das tabelas acima foi escolhida a vazão de projeto para a mini-central. Os critérios utilizados foram o de fator de capacidade, que deve ser maior que 70% e as possibilidades de conexão na área com a distribuição, já que se trata de uma rede rural monofásica.

A vazão de projeto selecionada foi a que possuiu fator de capacidade imediatamente superior a 70%, e de acordo com a Tabela 5.4, trata-se da opção número 13 da tabela. Ainda de acordo com a mesma tabela, temos que a vazão de projeto é  $0,26\text{m}^3/\text{s}$ , o que implica uma potência bruta de 144,04kW e uma potência instalada (líquida) de 104,23kW. A proposta de aprovação junto a concessionária de distribuição é de três transformadores monofásicos MRT de 37,5Kva com a utilização de dois geradores monofásicos de 63Kva.

As previsões de energia gerada anualmente a serem utilizadas neste trabalho utilizarão a motorização para vazão de projeto de  $0,26\text{m}^3/\text{s}$ .

## 6. IDENTIFICAÇÃO DE MODELOS

Como mencionado no capítulo 2, os estágios do ciclo iterativo da metodologia *Box & Jenkins* são a identificação, a estimação e a verificação de modelos ARIMA. Neste capítulo realizaremos a identificação de modelos estocásticos que possam representar as vazões na bacia estudada.

O horizonte temporal escolhido para os modelos de previsão foi o de curto prazo e o de médio prazo, sendo que o de curto prazo é capaz de prever um mês à frente e o de médio prazo é capaz de prever doze meses à frente.

Para a construção do modelo de curto prazo foi utilizada uma série histórica com vazões médias mensais de 07/1973 a 05/2010, e para a construção do modelo de médio prazo foram utilizadas doze séries históricas de vazões médias mensais para meses idênticos ao longo dos anos. O horizonte temporal das séries utilizadas na identificação dos modelos consta na tabela abaixo.

Tabela 6.1 – Séries de meses idênticos e série completa

| Série    | Intervalo |         |
|----------|-----------|---------|
| Jan      | 1974      | 2010    |
| Fev      | 1974      | 2010    |
| Mar      | 1974      | 2010    |
| Abr      | 1974      | 2010    |
| Mai      | 1974      | 2010    |
| Jun      | 1974      | 2009    |
| Jul      | 1973      | 2009    |
| Ago      | 1973      | 2009    |
| Set      | 1973      | 2008    |
| Out      | 1973      | 2009    |
| Nov      | 1973      | 2009    |
| Dez      | 1973      | 2008    |
| Completa | 07/1973   | 05/2010 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 6.1 ANÁLISE PRELIMINAR DOS DADOS

Inicialmente foram testadas a existência de tendência e de sazonalidade das séries históricas temporais usando os testes de Spearman rho, Friedman e análise espectral.

Tabela 6.2 – Análise de tendência das séries

| Série | Spearman rho | Tendência |
|-------|--------------|-----------|
| Jan   | -0,21811     | Nula      |
| Fev   | -0,14734     | Nula      |
| Mar   | -0,06982     | Nula      |

|          |          |             |
|----------|----------|-------------|
| Abr      | 0,013039 | Nula        |
| Mai      | -0,09471 | Nula        |
| Jun      | -0,19009 | Nula        |
| Jul      | -0,11807 | Nula        |
| Ago      | -0,23447 | Nula        |
| Set      | -0,34131 | Decrescente |
| Out      | -0,44156 | Decrescente |
| Nov      | -0,37008 | Decrescente |
| Dez      | -0,1106  | Nula        |
| Completa | -0,1244  | Decrescente |

Fonte: Elaborado pelo autor.

O teste de Friedman foi aplicado apenas na **série completa**, sendo que os meses foram considerados tratamentos ( $k=12$ ) e os anos ( $p=36$ ) foram considerados blocos. A hipótese nula de não existência de sazonalidade é rejeitada quando o resultado do teste é maior que o valor crítico. O valor crítico do teste pode ser aproximado por uma variável  $\chi^2$  com  $k$  (tratamentos) -1 graus de liberdade.

No caso em questão temos que o valor crítico para a série completa é  $\chi^2_{11;0,05}=19,675$  e o valor do teste para a mesma série é  $T_2=318,55$ , portanto rejeitamos a hipótese de não existência de sazonalidade.

Como não foi possível identificar blocos de repetição nas séries de meses idênticos, também não foi possível aplicar o teste de Friedman nestes dados, optando-se por realizar a análise espectral com o software *Minitab* e o teste de periodicidade de *Fisher*.

Na análise espectral, o periodograma permite identificar uma componente periódica de uma série temporal, e o periodograma acumulado permite identificar se a série não é uma sequência de ruído branco. Para a identificação da periodicidade nas séries utiliza-se o teste de periodicidade de Fisher, que pode ser visto com maiores detalhes em Morettin (2006) e em Batista (2009). As hipóteses a serem testadas no teste de Fisher são:

$H_0$ : Não existe periodicidade na série, para todo  $I_j^{(N)}$

$H_1$ : Existe periodicidade na série para algum  $I_j^{(N)}$

A estatística de Fisher para periodicidades pode ser obtida por:

Equação 6.1:  $Gobs = \frac{\max I_j^{(N)}}{\sum_{j=1}^{\lfloor \frac{N}{2} \rfloor} I_j^{(N)}}$ , onde:

$N$  - Número de observações da série

$I_j^{(N)}$  – Ordenadas para o periodograma da série

$$n = \frac{N}{2}$$

$$\text{Equação 6.2: } Z_{\alpha} = 1 - \left( \frac{\alpha}{\frac{N}{2}} \right)^{\frac{1}{2}-1}$$

$\alpha = 0,05$  – Nível de significância proposto para o teste

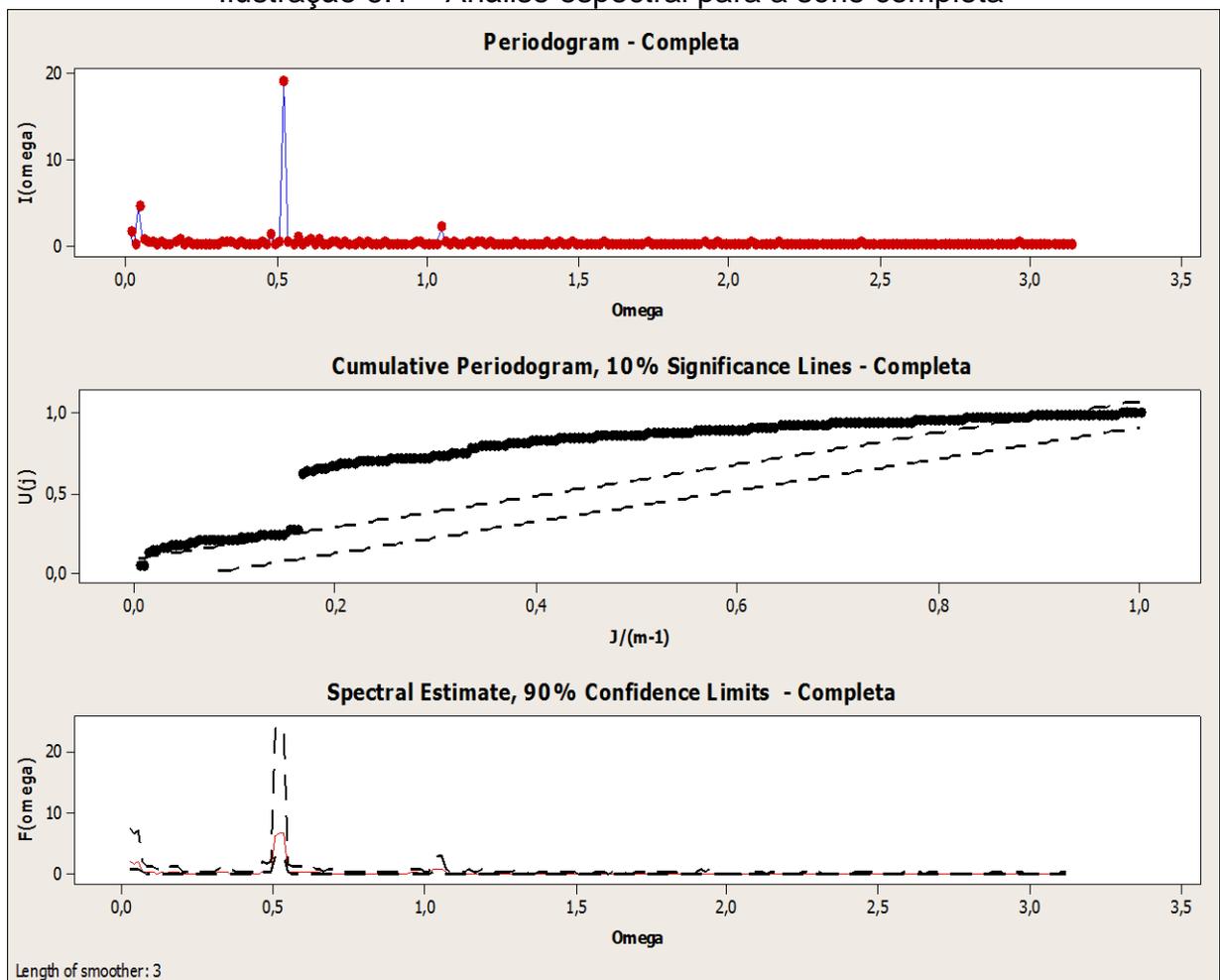
Caso  $Gobs > Z_{\alpha}$ , rejeita-se  $H_0$ , ou seja, a série possui sazonalidade no período  $j$  que pode ser dada por  $2n/j$ .

Ainda Morettin (2006) sugere a determinação do  $p$ -valor do teste aplicado na amostra e, caso  $p$ -valor seja menor que o nível de significância proposto ( $\alpha = 0,05$ ), deve-se também rejeitar  $H_0$ . O  $p$ -valor do teste pode ser determinado por:

$$\text{Equação 6.3: } \alpha^* = P(g > Gobs) \cong n(1 - Gobs)^{n-1}$$

O resultado da análise espectral, utilizando o software *Minitab*, para a série completa está na ilustração abaixo.

Ilustração 6.1 – Análise espectral para a série completa



Fonte: Elaborado pelo autor.

E a estatística de Fisher de periodicidades para a série completa e o seu nível de significância é:

$$Gobs = \frac{18,89}{\sum_{j=1}^{216} I_j^{(433)}} = \frac{18,89}{52,91} = 0,357$$

$$\alpha^* \cong 216(1 - 0,357)^{215} = 1,24E - 39$$

$$Z_\alpha = 0,0382$$

Como  $Gobs > Z_\alpha$  e também  $\alpha^* < 0,05$ , rejeitamos a hipótese de não existência de periodicidade e concluímos que a série possui periodicidade de  $2n/j=2*216/36=12$  meses. Pelo periodograma acumulado podemos verificar que a série não se trata de um ruído branco (sinal aleatório com igual intensidade em diferentes frequências), haja vista a existência de pontos fora da linha de significância de 10%.

A mesma análise foi realizada para as séries de meses idênticos, sendo que os meses com periodicidades significantes foram fevereiro, abril, maio, junho e julho, como pode ser visto na tabela abaixo.

As séries com maior dificuldade de modelagem, por possuírem característica de ruído branco (não há correlação dos dados), foram fevereiro, março, setembro, outubro, novembro e dezembro. Isto pode ser verificado na ilustração 6.3, onde os pontos dos periodogramas acumulado das séries citadas não cruzam a linha da região crítica. Estas séries possuem dificuldade de modelagem por apresentarem poucos padrões ou nenhum padrão de comportamento facilmente detectável.

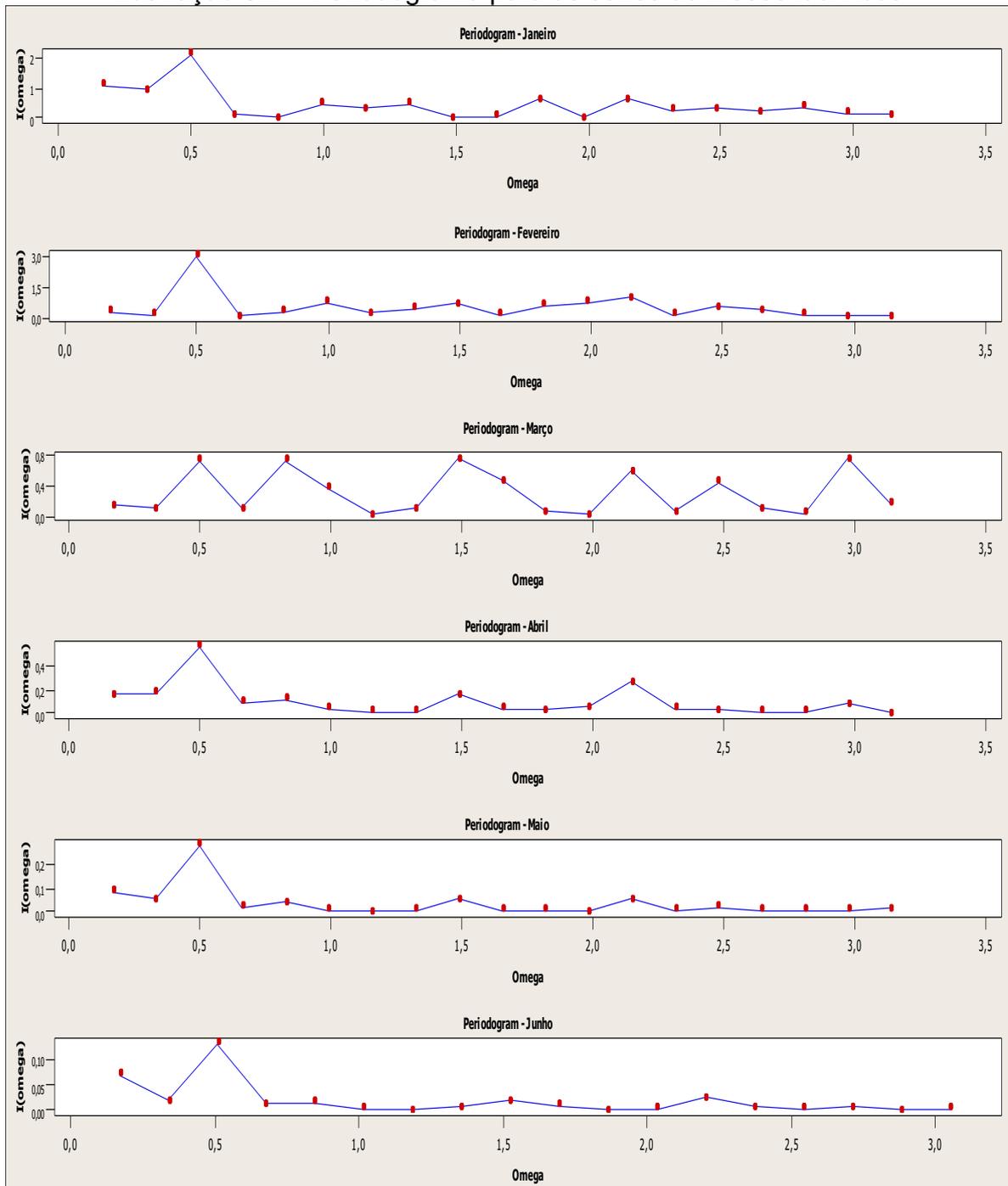
Tabela 6.3 – Identificação de periodicidades das séries de meses idênticos

| Parâmetro / Mês                                      | Jan.   | Fev.   | Mar.   | Abr.   | Mai.   | Jun.   |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $max I_j^{(N)}$                                      | 2,1392 | 3,1146 | 0,737  | 0,5559 | 0,2797 | 0,1342 |
| n  | 19     | 19     | 19     | 19     | 19     | 18     |
| $\sum_{j=1}^{\lfloor \frac{N}{2} \rfloor} I_j^{(N)}$ | 8,3428 | 9,5538 | 5,5644 | 1,8846 | 0,6573 | 0,3315 |
| Gobs   | 0,2564 | 0,326  | 0,1324 | 0,295  | 0,4256 | 0,4048 |
| $\alpha^*$   | 0,0918 | 0,0157 | 1,4727 | 0,0352 | 0,0009 | 0,0027 |
| $Z_\alpha$   | 0,2810 | 0,2810 | 0,2810 | 0,2810 | 0,2810 | 0,2926 |
| j  | 3      | 3      | 9      | 3      | 3      | 3      |
| Periodicidade  | 12,667 | 12,667 | 4,2222 | 12,667 | 12,667 | 12     |
|  |        |        |        |        |        |        |
| Parâmetro / Mês                                      | Jul.   | Ago.   | Set.   | Out.   | Nov.   | Dez.   |
| $max I_j^{(N)}$                                      | 0,0878 | 0,0583 | 0,0465 | 0,09   | 0,2315 | 0,8894 |
| n  | 18     | 18     | 18     | 18     | 18     | 18     |

|  |        |        |        |        |        |        |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\sum_{j=1}^{\lfloor \frac{N}{2} \rfloor} I_j^{(N)}$ | 0,2101 | 0,2385 | 0,2289 | 0,3844 | 1,3383 | 5,5348 |
| Gobs   | 0,4177 | 0,2447 | 0,2032 | 0,2341 | 0,173  | 0,1607 |
| $\alpha^*$   | 0,0018 | 0,1525 | 0,379  | 0,1933 | 0,7129 | 0,9161 |
| $Z_\alpha$   | 0,2926 | 0,2926 | 0,2926 | 0,2926 | 0,2926 | 0,2926 |
| j  | 3      | 3      | 1      | 1      | 4      | 9      |
| Periodicidade  | 12     | 12     | 36     | 36     | 9      | 4      |

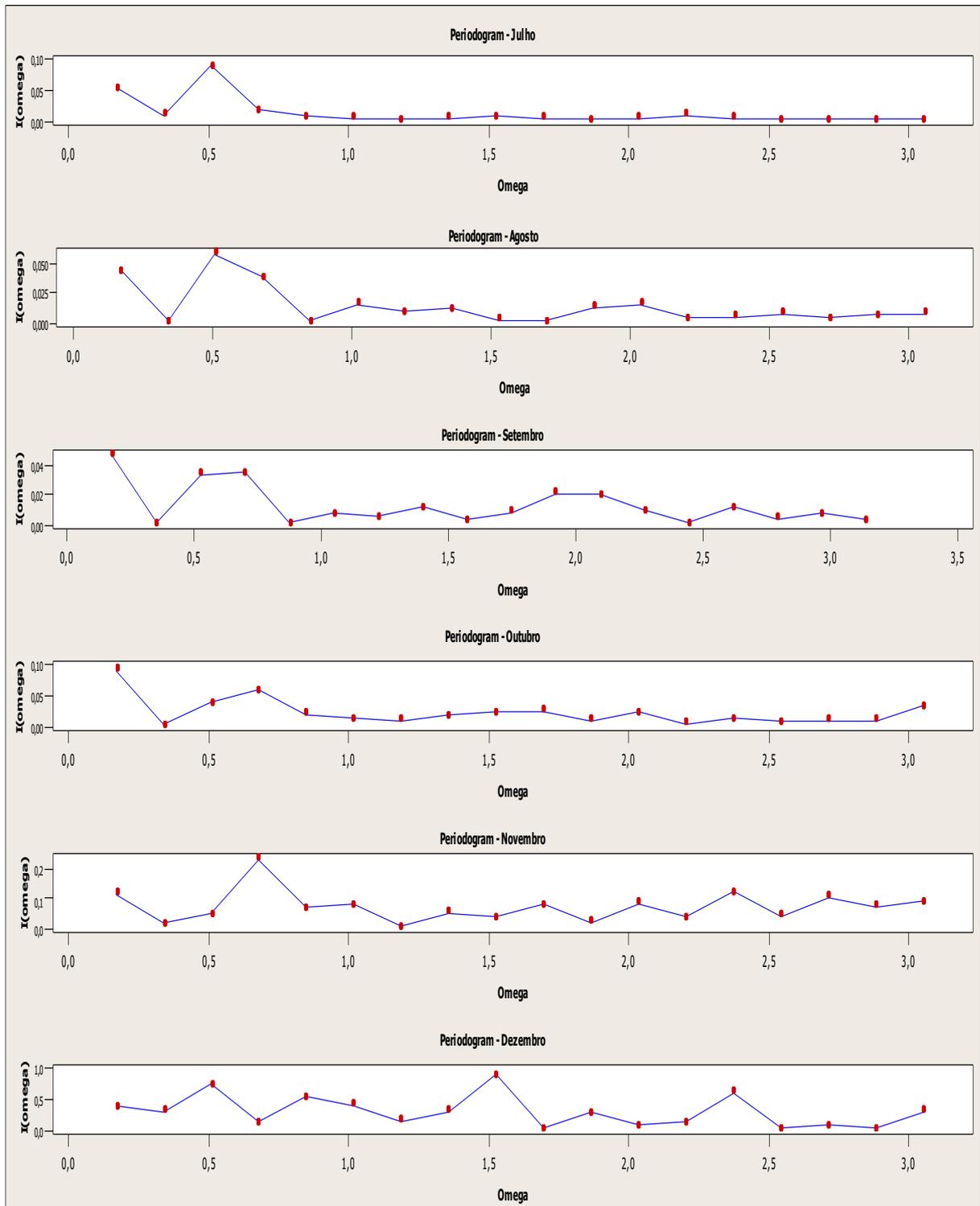
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ilustração 6.2 – Periodograma para as séries de meses idênticos



(a)

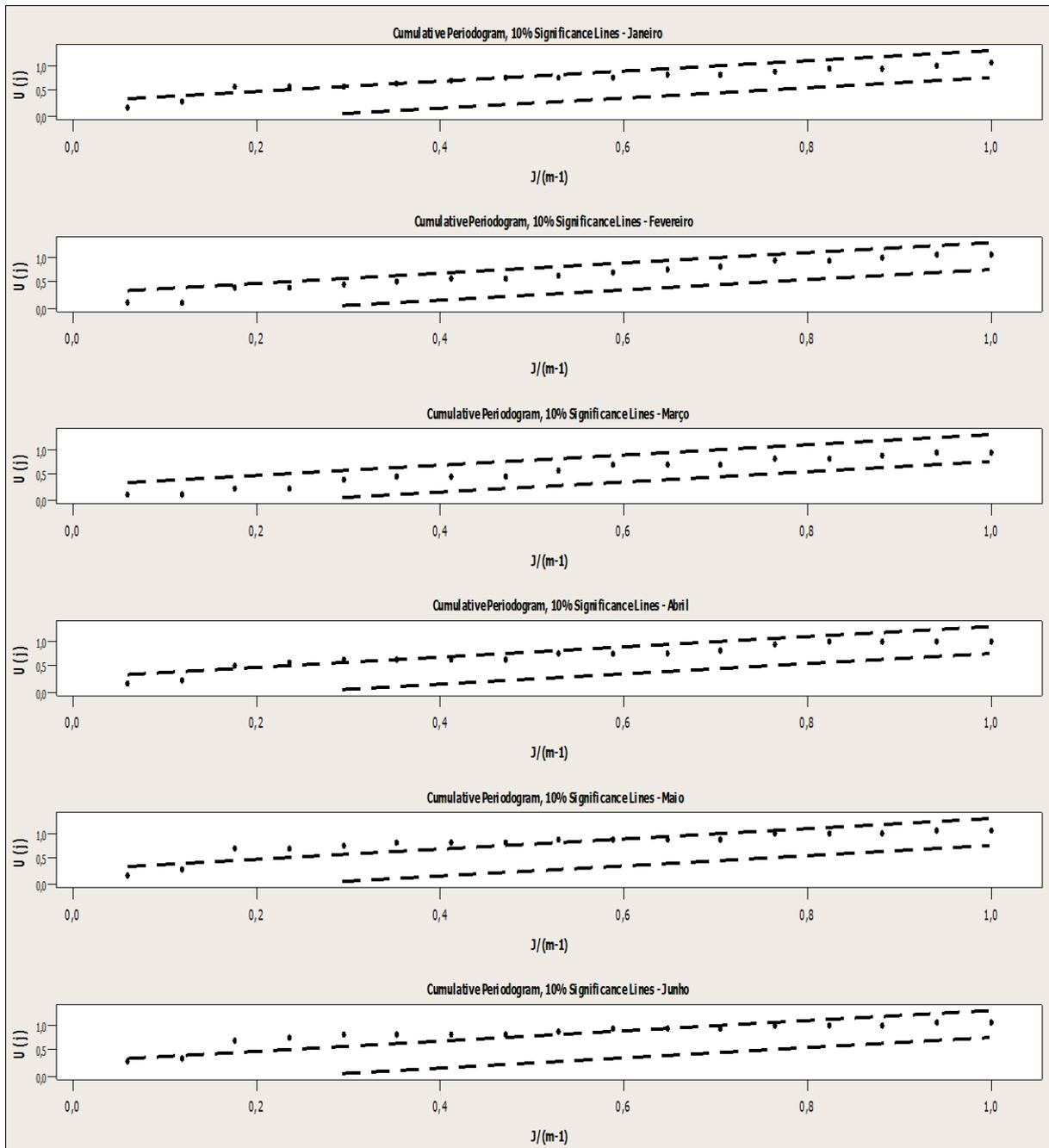
Ilustração 6.2 – Periodograma para as séries de meses idênticos



(b)

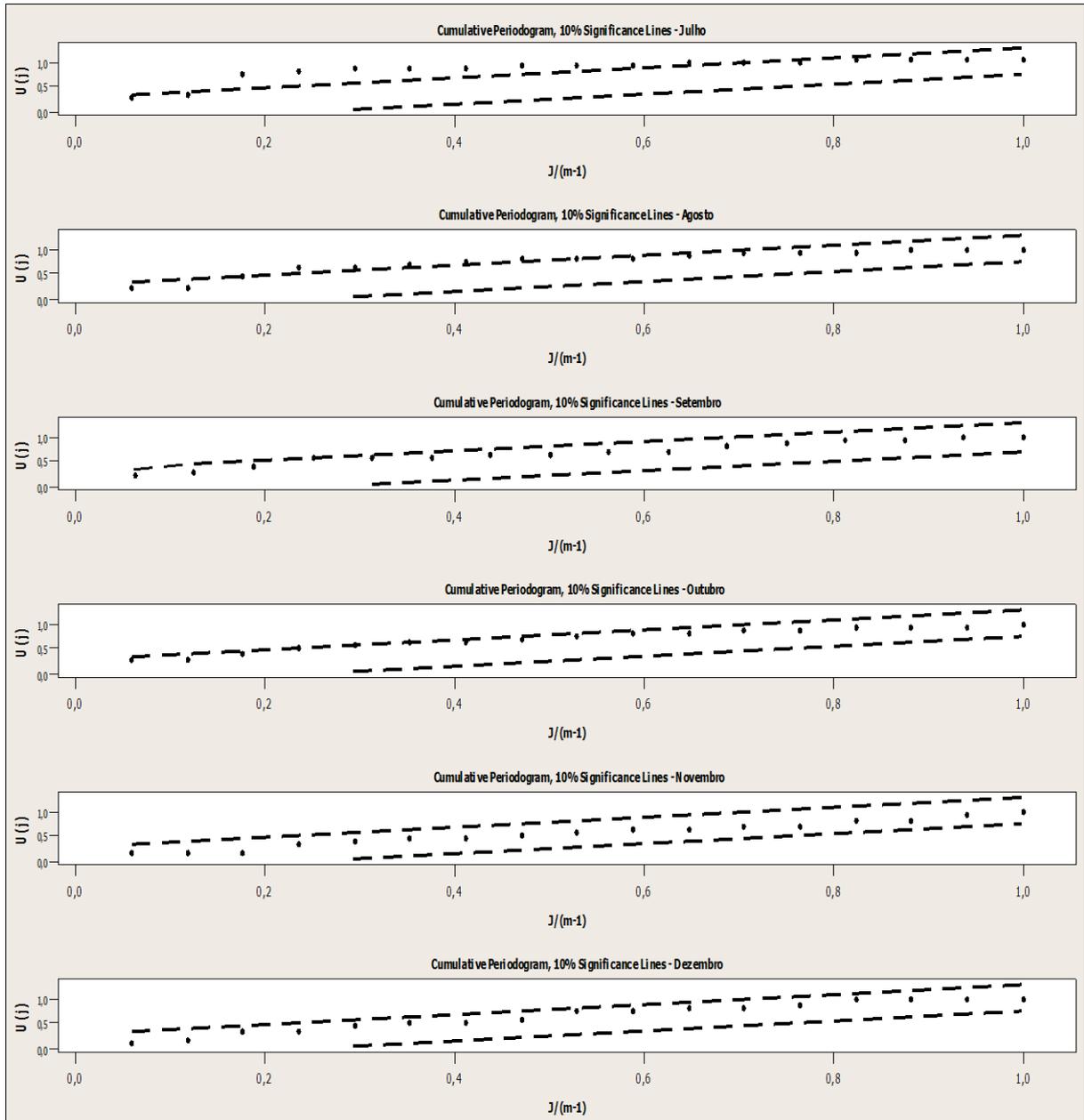
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ilustração 6.3 - Periodograma acumulado para as séries de meses idênticos



(a)

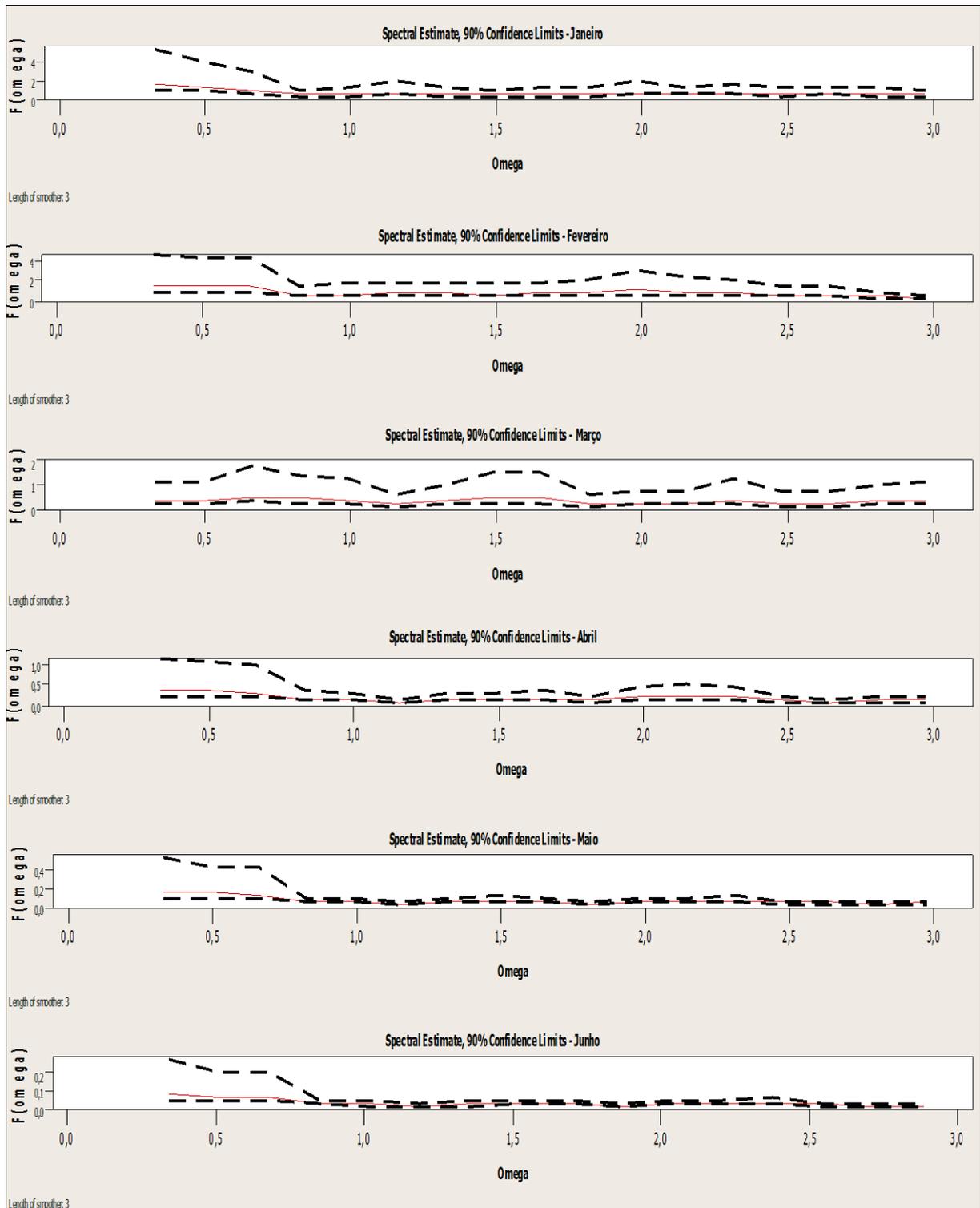
Ilustração 6.3 - Periodograma acumulado para as séries de meses idênticos



(b)

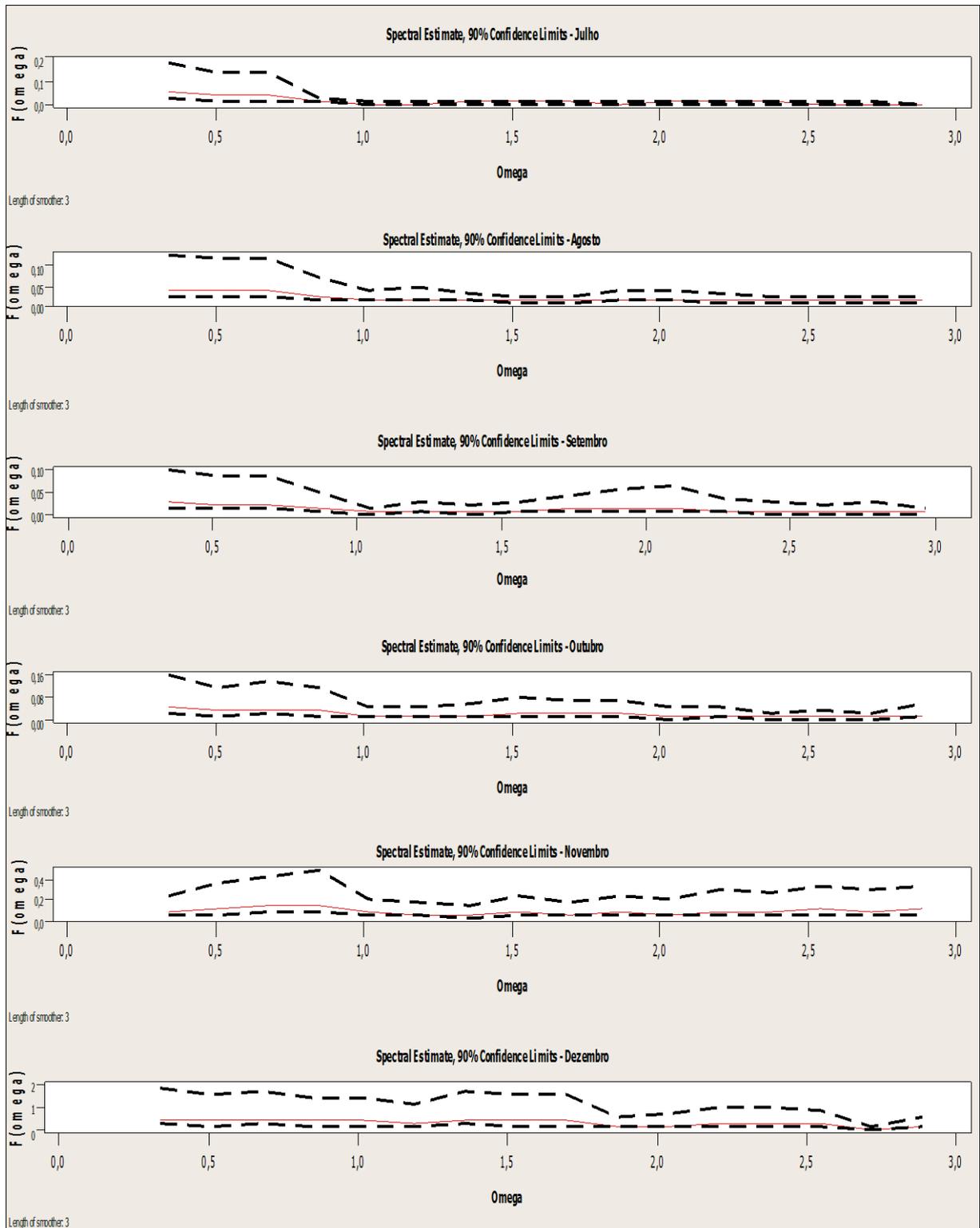
Fonte: Elaborado pelo autor.

Ilustração 6.4 – Estimativa espectral para as séries de meses idênticos



(a)

Ilustração 6.4 – Estimativa espectral para as séries de meses idênticos



(b)

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 6.2 TRANSFORMAÇÕES NOS DADOS

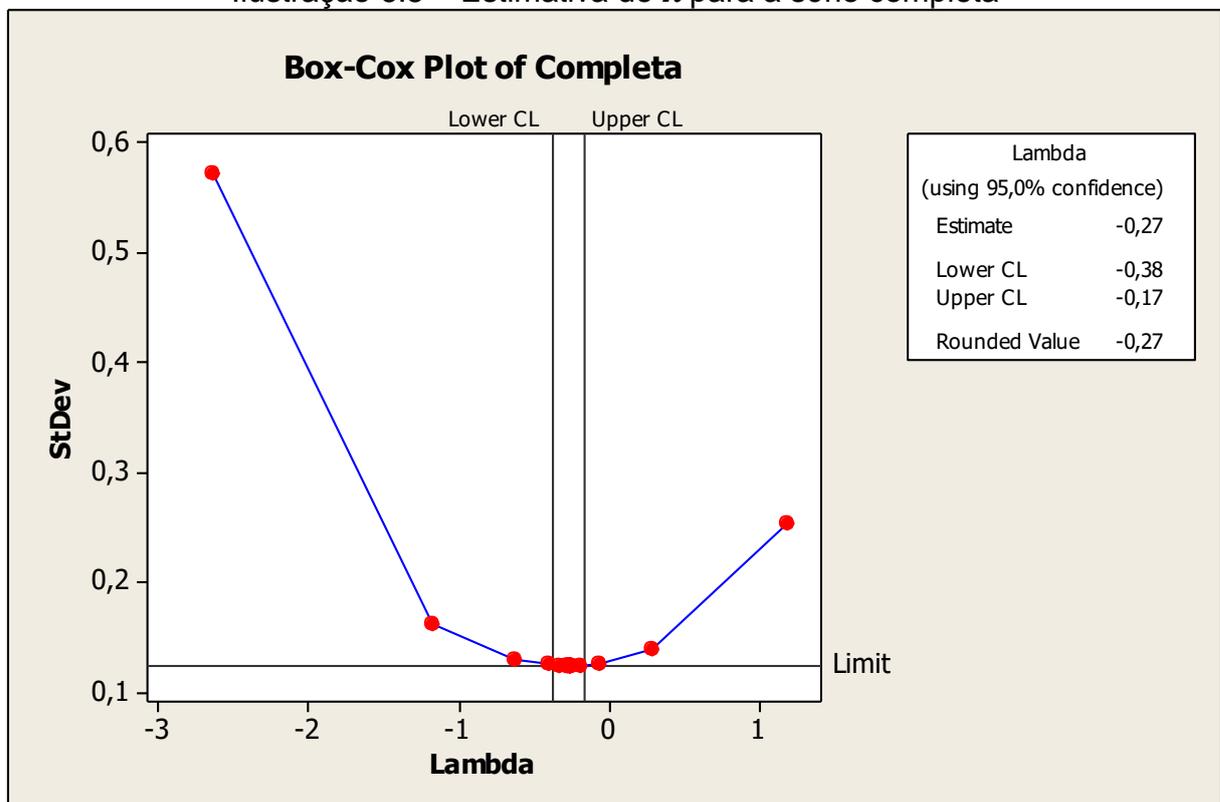
Segundo Montgomery (2008) e Morettin (2006), as transformações nos dados são úteis em muitos aspectos do trabalho estatístico, principalmente para estabilizar a variância dos dados, para tornar o efeito sazonal aditivo e para obter uma distribuição mais simétrica e próxima da normal. Nesta dissertação, o objetivo das transformações é contribuir para a obtenção de resíduos aleatórios no processo de ajustamento dos modelos ARIMA.

Neste trabalho foram utilizadas transformações não-lineares, como a logarítmica ou, em geral, a chamada transformação de Box-Cox, que pode ser representada da seguinte forma, onde  $\lambda$  é um parâmetro estimado.

$$\text{Equação 6.4: } Z_t^{(\lambda)} = \begin{cases} Z_t^\lambda - c & \text{se } \lambda \neq 0 \\ \ln Z_t & \text{se } \lambda = 0 \end{cases}$$

Adotando a constante  $c=0$ , temos para a série completa um valor de  $\lambda=-0,27$ , o que corresponde a uma transformação nos dados de  $Z_t^{(\lambda)} = Z_t^{-0,27}$ . A determinação do  $\lambda$  pode ser vista na ilustração abaixo.

Ilustração 6.5 – Estimativa de  $\lambda$  para a série completa



Fonte: Elaborado pelo autor.

O mesmo procedimento foi realizado para todas as demais séries de meses idênticos, sendo que as transformações necessárias estão na tabela abaixo.

Tabela 6.4 – Transformações nos dados

| Série    | Transformação               |
|----------|-----------------------------|
| Jan      | $Z_t^\lambda = \ln Z_t$     |
| Fev      | $Z_t^\lambda = \ln Z_t$     |
| Mar      | $Z_t^\lambda = \ln Z_t$     |
| Abr      | $Z_t^\lambda = Z_t^{0,5}$   |
| Mai      | $Z_t^\lambda = Z_t^{0,5}$   |
| Jun      | $Z_t^\lambda = Z_t^{0,5}$   |
| Jul      | $Z_t^\lambda = Z_t^{0,5}$   |
| Ago      | $Z_t^\lambda = \ln Z_t$     |
| Set      | $Z_t^\lambda = \ln Z_t$     |
| Out      | $Z_t^\lambda = \ln Z_t$     |
| Nov      | $Z_t^\lambda = Z_t^{-0,5}$  |
| Dez      | $Z_t^\lambda = \ln Z_t$     |
| Completa | $Z_t^\lambda = Z_t^{-0,27}$ |

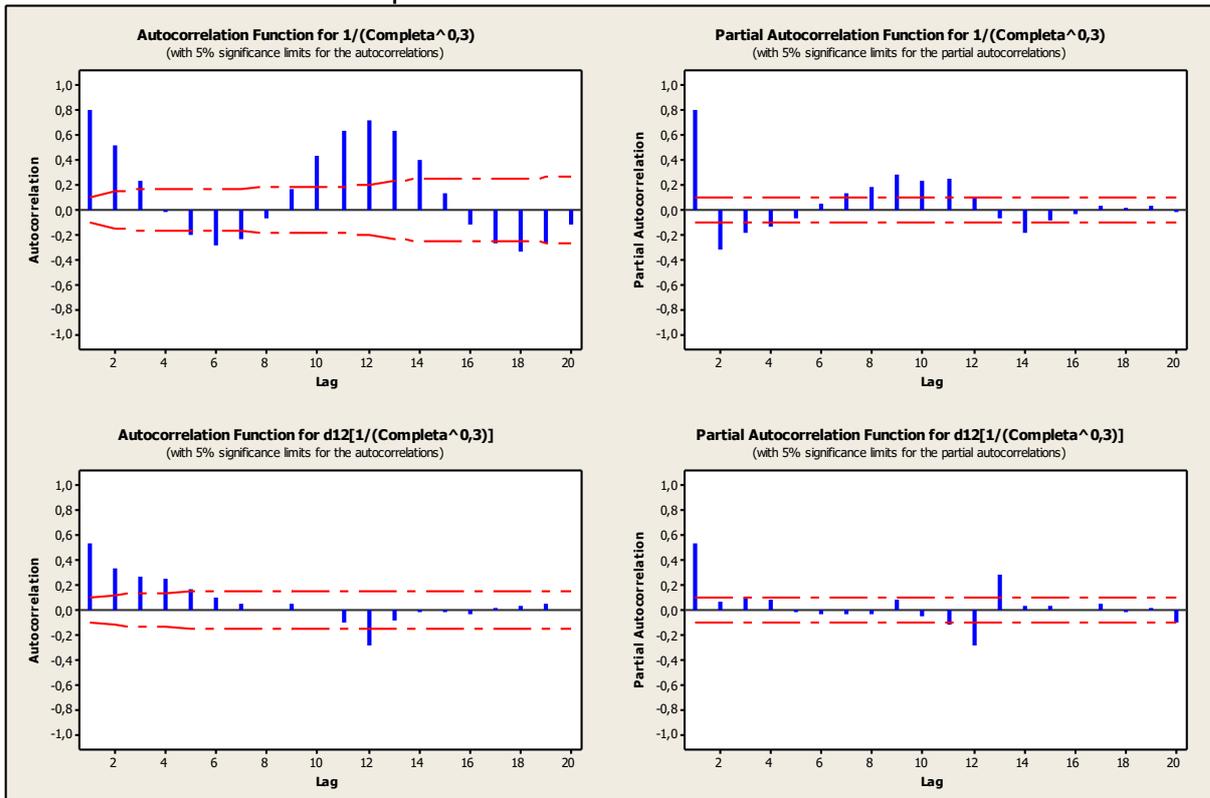
Fonte: Elaborado pelo autor.

As transformações foram aplicadas em todas as séries, que a partir deste ponto estão aptas a receber a identificação dos modelos ARIMA. Os dados transformados não foram incluídos para exibição, dada à extensão do texto.

### 6.3 MODELOS TENTATIVOS DE CURTO PRAZO

Como indicado no início deste capítulo, o modelo de curto prazo é capaz de prever um mês à frente, tendo como base os dados amostrais da série completa. Da análise preliminar dos dados sabemos que esta série é não estacionária, sazonal com periodicidade de ordem 12 meses. Para identificação dos modelos tentativos, restringimos a série completa de 01/1974 a 12/2007 e obtivemos as funções de auto-correlação e auto-correlação parcial da série transformada, como também as mesmas funções para a série já transformada e também diferenciada de ordem 12. A ilustração abaixo mostra as funções citadas para as duas situações.

### Ilustração 6.6 – Funções de auto-correlação e auto-correlação parcial para a série completa - transformada e diferenciada



Fonte: Elaborado pelo autor.

De posse destas funções selecionamos alguns modelos tentativos que apresentaram resíduo de ajustamento com funções de auto-correlação residual e auto-correlação parcial residual compatíveis com um processo de ruído branco. Mais adiante estes modelos selecionados serão avaliados quanto à capacidade de previsão. Seguem os modelos SARIMAs identificados.

Tabela 6.5 - Modelos ajustados para a série completa

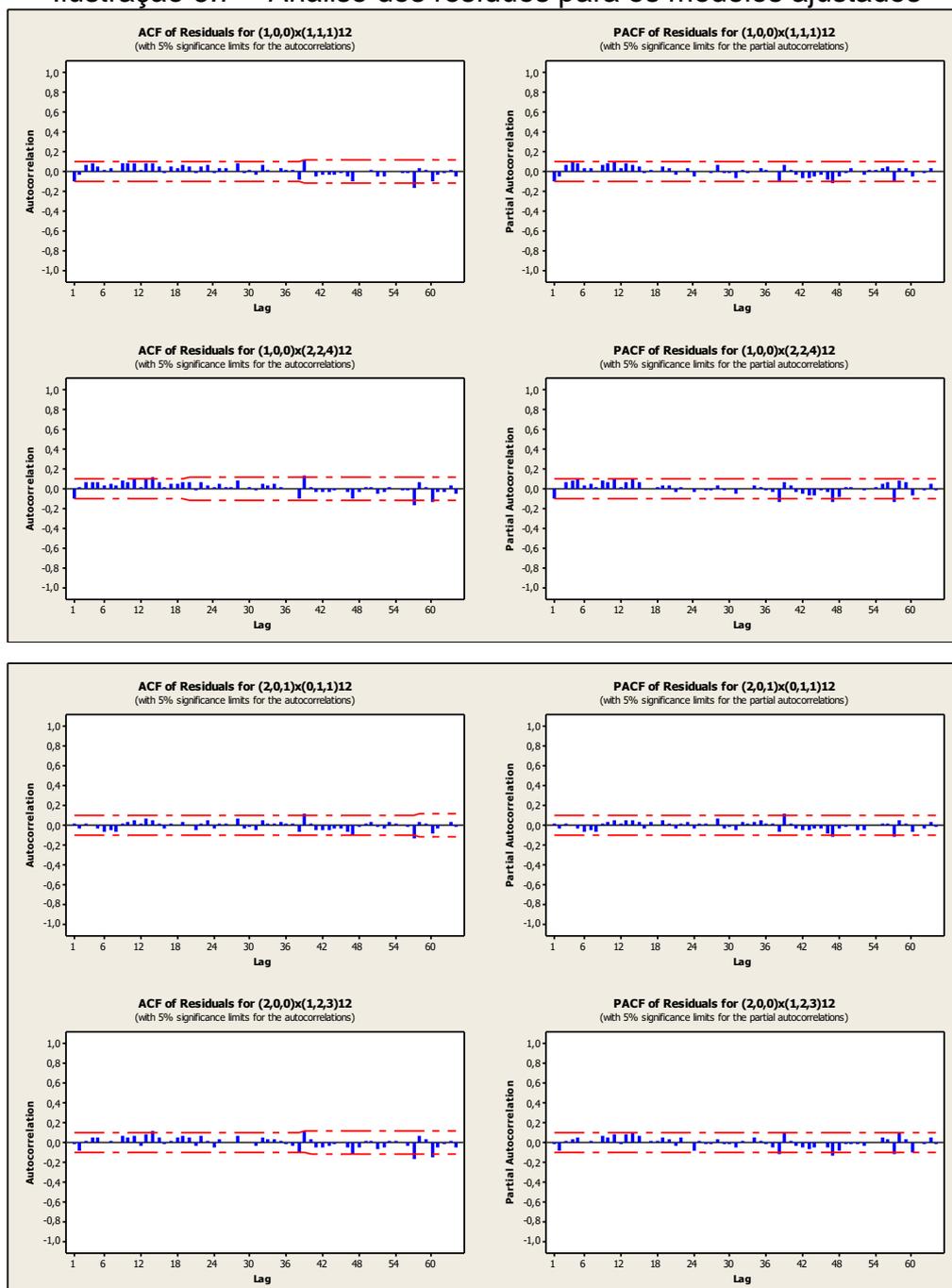
| Modelo | Descrição                     |
|--------|-------------------------------|
| C1     | $(1,0,0) \times (1,1,1)_{12}$ |
| C2     | $(1,0,0) \times (2,2,4)_{12}$ |
| C3     | $(2,0,1) \times (0,1,1)_{12}$ |
| C4     | $(2,0,0) \times (1,2,3)_{12}$ |
| C5     | $(1,1,1) \times (0,1,1)_{12}$ |
| C6     | $(1,1,1) \times (3,2,1)_{12}$ |
| C7     | $(1,0,0) \times (1,1,0)_{12}$ |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Abaixo estão as funções de auto-correlação residual e auto-correlação parcial residual para os modelos citados, sendo que estas funções foram

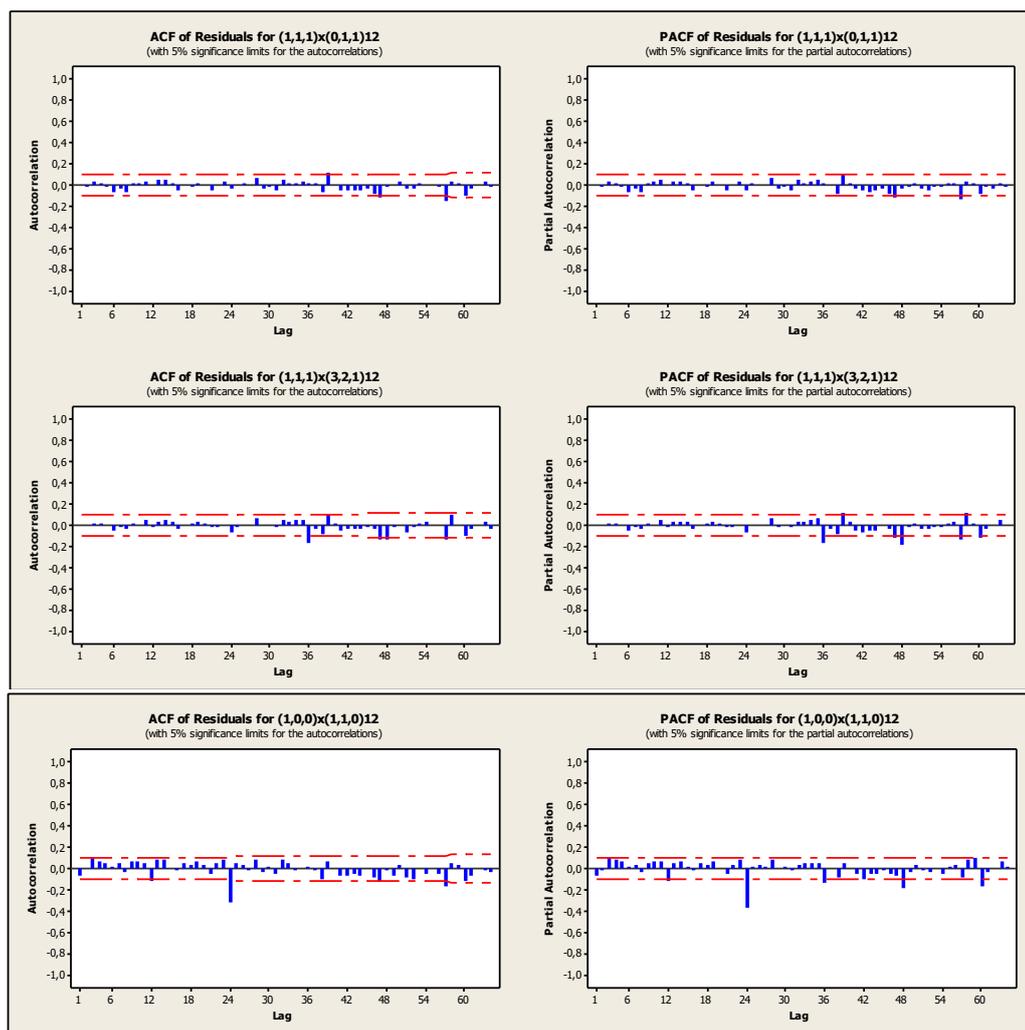
aproximadamente compatíveis com um processo de ruído branco, o que indica que os modelos apresentaram um bom ajustamento à série completa de dados transformada.

Ilustração 6.7 – Análise dos resíduos para os modelos ajustados



(a)

### Ilustração 6.7 – Análise dos resíduos para os modelos ajustados



(b)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resíduos apresentados pelos modelos estão bem próximos de ter características de ruído branco, com exceção às correlações que aparecem nos *lags* 24, 36, 48 e 60 em algumas funções. Isso significa que também poderiam ser avaliados modelos tentativos com ordem sazonal superior a 2, entretanto a seleção destes modelos ficou restrita aos mostrados na tabela 6.5.

## 6.4 MODELOS TENTATIVOS DE MÉDIO PRAZO

Os modelos tentativos de médio prazo permitem prever até doze meses à frente de vazões médias mensais, tendo como base os dados amostrais das séries

de meses idênticos. A análise preliminar dos dados avaliou a existência ou não de sazonalidade, e foram calculadas as funções de auto-correlação e auto-correlação parcial para a identificação da ordem dos modelos ARIMA e SARIMA. Restringimos o horizonte temporal das séries para realizar o ajustamento conforme a tabela abaixo.

Tabela 6.6 - Séries de meses idênticos para identificação de modelos

| Série | Intervalo |      |
|-------|-----------|------|
| Jan   | 1974      | 2001 |
| Fev   | 1974      | 2001 |
| Mar   | 1974      | 2001 |
| Abr   | 1974      | 2001 |
| Mai   | 1974      | 2001 |
| Jun   | 1974      | 2000 |
| Jul   | 1973      | 2000 |
| Ago   | 1973      | 2000 |
| Set   | 1973      | 1999 |
| Out   | 1973      | 2000 |
| Nov   | 1973      | 2000 |
| Dez   | 1973      | 2000 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para avaliar a capacidade de ajustamento dos modelos às séries de dados foi utilizado o critério de informação de Akaike corrigido (AICC), que é dado pela seguinte equação.

$$\text{Equação 6.5: } AICC = \ln \left( \frac{\sum_{t=1}^T e_t^2}{T} \right) \frac{2T(p+1)}{T-p-2}$$

Onde T é o número de amostras e p é a ordem do modelo tentativo ajustado à série de dados.

O teste da necessidade de uma constante "C" na parte não sazonal dos modelos tentativos foi determinado com a avaliação da média da série amostral, caso esta média seja significativamente grande, a constante deverá ser avaliada. A média é significativamente grande quando:

$$\text{Equação 6.4: } \bar{x} \mp \sigma_x > 1$$

Onde  $\bar{x}$  é a média amostral e  $\sigma_x$  é o desvio padrão amostral.

Os modelos tentativos ajustados que forneceram resíduos com características compatíveis com um processo de ruído branco estão na tabela abaixo.

Tabela 6.7 – Modelos ARIMA / SARIMA tentativos de médio prazo

| <b>Jan</b>        | <b>T</b> | <b>p</b> | <b>AICC</b> | <b>Modelo</b> |
|-------------------|----------|----------|-------------|---------------|
| C+001             | 28       | 1        | 3,37        | J1            |
| C+100             | 28       | 1        | 3,37        | J2            |
| C+101             | 28       | 2        | 5,88        | J3            |
| <b>In(Jan)</b>    | <b>T</b> | <b>p</b> | <b>AICC</b> |               |
| C+001             | 28       | 1        | 3,29        | J4            |
| C+100             | 28       | 1        | 3,24        | J5            |
| (C+100)x(0,1,0)12 | 16       | 2        | 6,95        | J6            |
| (C)x(1,1,0)12     | 16       | 2        | 4,56        | J7            |
| C+101             | 28       | 2        | 5,76        | J8            |
| C+200             | 28       | 2        | 5,76        | J9            |
| 100               | 28       | 1        | 3,28        | J10           |
| C+011             | 27       | 2        | 6,00        | J11           |
| <b>In(Fev)</b>    | <b>T</b> | <b>p</b> | <b>AICC</b> |               |
| C+001             | 28       | 1        | 3,63        | F1            |
| C+100             | 28       | 1        | 3,64        | F2            |
| C+101             | 28       | 2        | 6,05        | F3            |
| (C+100)x(0,1,0)12 | 16       | 2        | 7,43        | F4            |
| <b>In(Mar)</b>    | <b>T</b> | <b>p</b> | <b>AICC</b> |               |
| C+001             | 28       | 1        | 3,62        | M1            |
| C+100             | 28       | 1        | 3,62        | M2            |
| C+101             | 28       | 2        | 6,14        | M3            |
| (C)x(0,1,1)7      | 21       | 3        | 9,60        | M4            |
| (C+100)x(1,1,1)7  | 21       | 4        | 12,94       | M5            |
| (C+100)x(2,1,1)7  | 21       | 5        | 16,28       | M6            |
| (C)x(0,1,1)4      | 24       | 3        | 9,30        | M7            |
| (C+100)x(1,1,1)4  | 24       | 4        | 12,32       | M8            |
| (C+100)x(2,1,1)4  | 24       | 5        | 15,45       | M9            |
| <b>raiz(Abr)</b>  | <b>T</b> | <b>p</b> | <b>AICC</b> |               |
| 100               | 28       | 1        | 1,40        | A1            |
| 110               | 27       | 2        | 3,92        | A2            |
| (C+100)x(0,1,0)12 | 16       | 2        | 4,82        | A3            |
| (C)x(0,1,1)12     | 16       | 2        | 4,79        | A4            |
| <b>raiz(Mai)</b>  | <b>T</b> | <b>p</b> | <b>AICC</b> |               |
| 100               | 28       | 1        | 0,46        | MI1           |
| 101               | 28       | 2        | 2,94        | MI2           |
| (C)x(1,1,0)12     | 16       | 2        | 3,45        | MI3           |
| <b>raiz(Jun)</b>  | <b>T</b> | <b>p</b> | <b>AICC</b> |               |
| 100               | 27       | 1        | -0,12       | JN1           |
| 101               | 27       | 2        | 2,42        | JN2           |
| (1,1,0)12         | 15       | 2        | -0,49       | JN3           |
| <b>raiz(Jul)</b>  | <b>T</b> | <b>p</b> | <b>AICC</b> |               |
| 100               | 27       | 1        | -2,06       | JL1           |
| 101               | 27       | 2        | 2,30        | JL2           |
| (1,1,1)12         | 16       | 3        | 5,60        | JL3           |
| <b>In(Ago)</b>    | <b>T</b> | <b>p</b> | <b>AICC</b> |               |
| 100               | 27       | 1        | 2,95        | AG1           |
| 101               | 27       | 2        | 5,41        | AG2           |
| (100)x(1,1,1)12   | 15       | 4        | 12,08       | AG3           |

| <b>In(Set)</b>     | <b>T</b> | <b>p</b> | <b>AICC</b> |    |
|--------------------|----------|----------|-------------|----|
| 100                | 27       | 1        | 3,27        | S1 |
| 101                | 27       | 2        | 5,80        | S2 |
| (100)x(1,1,0)9     | 18       | 3        | 9,81        | S3 |
| <b>In(Out)</b>     | <b>T</b> | <b>p</b> | <b>AICC</b> |    |
| 100                | 28       | 1        | 3,40        | O1 |
| 101                | 28       | 2        | 5,87        | O2 |
| (100)x(0,1,1)4     | 24       | 3        | 8,77        | O3 |
| <b>1/raiz(Nov)</b> | <b>T</b> | <b>p</b> | <b>AICC</b> |    |
| 100                | 28       | 1        | 3,95        | N1 |
| 101                | 28       | 2        | 5,96        | N2 |
| (1,1,1)9           | 19       | 3        | 9,37        | N3 |
| <b>In(Dez)</b>     | <b>T</b> | <b>p</b> | <b>AICC</b> |    |
| C+100              | 28       | 1        | 3,56        | D1 |
| C+101              | 28       | 2        | 6,08        | D2 |
| C+011              | 27       | 2        | 6,02        | D3 |
| 11                 | 27       | 2        | 6,14        | D4 |
| (C+011)x(0,1,0)4   | 23       | 3        | 10,21       | D5 |
| (C+011)x(0,1,0)7   | 20       | 3        | 10,74       | D6 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A única série em que foram ajustados modelos na série original e também na série transformada foi o mês de janeiro, para os demais meses os modelos foram ajustados diretamente na série transformada.

A letra “C” na designação dos modelos indica a existência da constante na parte não sazonal.

O modelo que melhor se ajusta aos dados amostrais dos meses são aqueles que possuem o menor valor de AICC para o mês analisado.

## 7. AVALIAÇÃO DE MODELOS

De acordo com Montgomery (2008), a medida de qualidade de ajuste dos dados ao modelo que utiliza resíduos não reflete a capacidade de previsão do modelo. A indicação da qualidade da previsão é obtida com a avaliação dos erros de previsão, que pode ser feita através do indicador MAPE (Erro Médio Percentual Absoluto), já apresentado no capítulo 2.

A avaliação baseou-se nos modelos tentativos obtidos no capítulo anterior e num período selecionado para avaliação. Para o modelo de curto prazo (série completa), foram utilizados todos os meses de 2008, sempre com a previsão de um mês à frente, com atualização. Para as séries de meses idênticos dos modelos de médio prazo, foram utilizados os seguintes anos.

Tabela 7.1 – Período selecionado para avaliação de modelos

| <b>Série</b> | <b>Intervalo</b> |      |
|--------------|------------------|------|
| Jan          | 2002             | 2010 |
| Fev          | 2002             | 2010 |
| Mar          | 2002             | 2010 |
| Abr          | 2002             | 2010 |
| Mai          | 2002             | 2010 |
| Jun          | 2001             | 2009 |
| Jul          | 2001             | 2009 |
| Ago          | 2001             | 2009 |
| Set          | 2000             | 2008 |
| Out          | 2001             | 2009 |
| Nov          | 2001             | 2009 |
| Dez          | 2001             | 2009 |

Fonte: Elaborado pelo autor.

### 7.1 MODELO DE CURTO PRAZO

Os modelos tentativos de curto prazo, com previsão de um mês à frente e os seus respectivos MAPEs para o ano de 2008 encontram-se abaixo.

Tabela 7.2 – MAPEs para os modelos tentativos da série completa

| <b>1/(Sazonal<sup>0,3</sup>)</b> | <b>MAPE</b> | <b>Modelo</b> |
|----------------------------------|-------------|---------------|
| (1,0,0)x(1,1,1) <sub>12</sub>    | 27,40%      | C1            |
| (1,0,0)x(2,2,4) <sub>12</sub>    | 27,49%      | C2            |
| (2,0,1)x(0,1,1) <sub>12</sub>    | 34,18%      | C3            |
| (2,0,0)x(1,2,3) <sub>12</sub>    | 31,74%      | C4            |
| (1,1,1)x(0,1,1) <sub>12</sub>    | 34,20%      | C5            |
| (1,1,1)x(3,2,1) <sub>12</sub>    | 32,49%      | C6            |
| (1,0,0)x(1,1,0) <sub>12</sub>    | 20,02%      | C7            |

Fonte: Elaborado pelo autor.

O modelo C7 foi o que apresentou o menor índice MAPE, portanto o que apresentou melhor capacidade de previsão para o período de validação.

## 7.2 MODELOS DE MEDIO PRAZO

Os modelos tentativos de médio prazo, com previsão de um mês à frente e os seus respectivos MAPEs para os períodos da Tabela 7.1 encontram-se abaixo.

Tabela 7.3 - MAPEs para os modelos tentativos das séries de meses idênticos

| <b>Jan</b>        | <b>MAPE</b> | <b>Modelo</b> |
|-------------------|-------------|---------------|
| C+001             | 97,23%      | J1            |
| C+100             | 88,50%      | J2            |
| C+101             | 92,06%      | J3            |
| <b>In(Jan)</b>    | <b>MAPE</b> |               |
| C+001             | 75,44%      | J4            |
| C+100             | 70,94%      | J5            |
| (C+100)x(0,1,0)12 | 49,06%      | J6            |
| (C)x(1,1,0)12     | 96,95%      | J7            |
| C+101             | 73,05%      | J8            |
| C+200             | 71,96%      | J9            |
| 100               | 80,28%      | J10           |
| C+011             | 72,53%      | J11           |
| <b>In(Fev)</b>    | <b>MAPE</b> |               |
| C+001             | 50,30%      | F1            |
| C+100             | 49,46%      | F2            |
| C+101             | 47,52%      | F3            |
| (C+100)x(0,1,0)12 | 41,62%      | F4            |
| <b>In(Mar)</b>    | <b>MAPE</b> |               |
| C+001             | 42,91%      | M1            |
| C+100             | 42,76%      | M2            |
| C+101             | 42,80%      | M3            |
| (C)x(0,1,1)7      | 36,53%      | M4            |
| (C+100)x(1,1,1)7  | 34,11%      | M5            |
| (C+100)x(2,1,1)7  | 59,57%      | M6            |
| (C)x(0,1,1)4      | 44,48%      | M7            |
| (C+100)x(1,1,1)4  | 37,39%      | M8            |
| (C+100)x(2,1,1)4  | 56,01%      | M9            |
| <b>raiz(Abr)</b>  | <b>MAPE</b> |               |
| 100               | 24,54%      | A1            |
| 110               | 23,54%      | A2            |
| (C+100)x(0,1,0)12 | 42,47%      | A3            |
| (C)x(0,1,1)12     | 43,76%      | A4            |
| <b>raiz(Mai)</b>  | <b>MAPE</b> |               |
| 100               | 21,96%      | MI1           |
| 101               | 22,20%      | MI2           |
| (C)x(1,1,0)12     | 20,90%      | MI3           |
| <b>raiz(Jun)</b>  | <b>MAPE</b> |               |
| 100               | 39,51%      | JN1           |

|                    |             |     |
|--------------------|-------------|-----|
| 101                | 38,60%      | JN2 |
| (1,1,0)12          | 42,45%      | JN3 |
| <b>raiz(Jul)</b>   | <b>MAPE</b> |     |
| 100                | 37,34%      | JL1 |
| 101                | 36,11%      | JL2 |
| (1,1,1)12          | 48,02%      | JL3 |
| <b>In(Ago)</b>     | <b>MAPE</b> |     |
| 100                | 33,61%      | AG1 |
| 101                | 40,08%      | AG2 |
| (100)x(1,1,1)12    | 49,45%      | AG3 |
| <b>In(Set)</b>     | <b>MAPE</b> |     |
| 100                | 31,78%      | S1  |
| 101                | 31,09%      | S2  |
| (100)x(1,1,0)9     | 46,35%      | S3  |
| <b>In(Out)</b>     | <b>MAPE</b> |     |
| 100                | 49,39%      | O1  |
| 101                | 40,34%      | O2  |
| (100)x(0,1,1)4     | 51,34%      | O3  |
| <b>1/raiz(Nov)</b> | <b>MAPE</b> |     |
| 100                | 42,41%      | N1  |
| 101                | 46,23%      | N2  |
| (1,1,1)9           | 602,06%     | N3  |
| <b>In(Dez)</b>     | <b>MAPE</b> |     |
| C+100              | 101,32%     | D1  |
| C+101              | 97,73%      | D2  |
| C+011              | 99,04%      | D3  |
| 11                 | 98,85%      | D4  |
| (C+011)x(0,1,0)4   | 121,38%     | D5  |
| (C+011)x(0,1,0)7   | 51,69%      | D6  |

Fonte: Elaborado pelo autor.

O conjunto de modelos que deve compor a previsão de médio prazo é: J6, F4, M5, A2, MI3, JN2, JL2, AG1, S2, O2, N1 e D6. Cada um destes modelos apresentou o menor MAPE dentre os demais modelos no mês a que cada qual se refere.

### 7.3 QUALIDADE DAS PREVISÕES

A fim de se realizar uma comparação de desempenho de previsão anual (um mês à frente) entre o conjunto de modelos de médio prazo (J6, F4, M5, A2, MI3, JN2, JL2, A1, S2, O2, N1 e D6) e o modelo de curto prazo (C7), foi escolhido o ano de 2008, que é comum a todos os modelos selecionados.

Com o modelo de curto prazo foram realizadas previsões de um mês à frente para todo o ano de 2008, com atualização, obtendo-se o MAPE de 20,02%.

Também foi realizada uma previsão de 12 meses à frente com o conjunto de modelos para previsão de médio prazo, resultando em MAPE de 28,25%.

Com os modelos obtidos podemos realizar previsões mensais de vazões com MAPE de 20,02% e previsões anuais de vazões com MAPE de 28,25%.

Obtidos os MAPEs para os modelos estocásticos selecionados, podemos compará-los com os MAPEs obtidos nos modelos utilizados no SIN em 2007 e em 2008 para os aproveitamentos da bacia do Rio Paraná. Em 2007 o ONS utilizou o modelo Previvaz para realizar as previsões nos aproveitamentos da bacia, já em 2008 utilizou os modelos Previvaz e MPCV, (ONS, 2008) e (ONS,2009).

A tabela abaixo mostra os índices MAPE, resultados médios anuais, para as previsões semanais de vazões realizadas com modelos estocásticos nos aproveitamentos do SIN localizados na bacia do Rio Paraná. Até abril de 2000 O ONS utiliza o modelo PREVAZ, porém a partir de maio de 2000, o ONS resolveu empregar para o primeiro mês a média dos valores semanais obtidos com o modelo PREVIVAZ, que já vinha sendo utilizado nas revisões do PMO, (ONS, 2001).

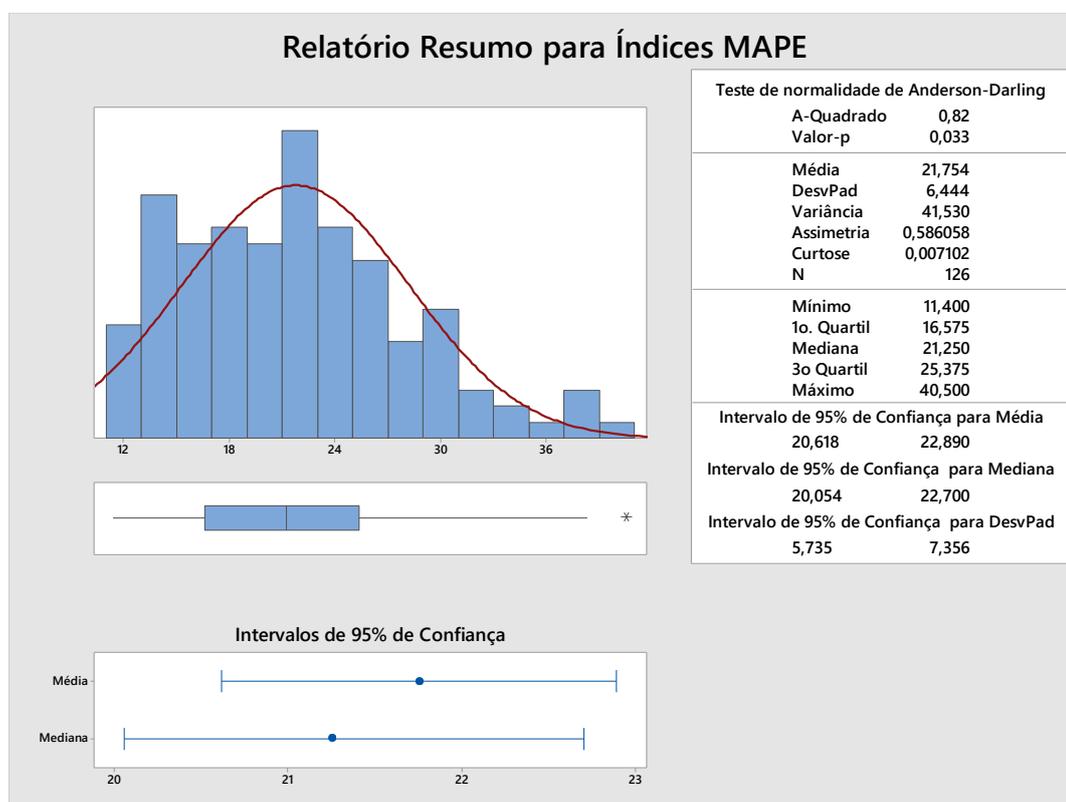
Tabela 7.4 – Índices MAPE anuais para a previsão de vazões semanais dos aproveitamentos do SIN localizados na bacia do Rio Paraná de 1997 até 2008.

| Aproveitamento | Código | 1997 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2007 | 2008 |
|----------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| CACONDE        | 14     | 15,9 | 13,7 | 25,3 | 28,5 | 24,3 | 21,7 | 21,7 | 21   | 21   |
| A. VERMELHA    | 18     |      | 15,6 | 22,8 | 25,6 | 22,5 | 22,7 | 20,3 | 16,1 | 16,1 |
| BARRA BONITA   | 37     |      | 17,5 | 33,5 | 27,7 | 32,7 | 34,2 | 29,6 | 37   | 26,6 |
| PROMISSAO      | 40     | 21,4 | 18,7 | 32,3 | 25,7 | 30,9 | 35,4 | 23,2 | 29,9 | 25,3 |
| NAVANHANDEVA   | 42     |      |      |      |      |      |      |      | 29,9 | 24,3 |
| CACH.DOURADA   | 32     |      |      |      |      |      |      |      | 12,2 | 18,1 |
| CAMARGOS       | 1      |      | 13,8 | 20,6 | 26,1 | 24   | 25,9 | 18,3 | 18,6 | 25,2 |
| EMBORCACAO     | 24     |      |      |      |      |      | 32,8 | 15   | 13,5 | 21,3 |
| FUNIL-GRANDE   | 4      |      |      |      |      |      | 22,7 | 22,3 | 19,6 | 24,5 |
| I. SOLT. EQV   | 44     |      | 14,5 | 21,1 | 18,4 | 20,4 | 21,6 | 16,6 | 13,8 | 12,9 |
| JUPIA          | 45     | 14,9 | 11,6 | 19,8 | 17,9 | 18,9 | 21,6 | 16   | 14,2 | 11,4 |
| P. PRIMAVERA   | 46     |      |      |      |      |      |      |      | 13,2 | 11,6 |
| CORUMBA IV     | 29     |      |      |      |      |      |      |      | 38,2 | 20,6 |
| CAPIVARA       | 61     | 22,3 | 20,7 | 27,2 | 26,5 | 38,3 | 29,5 | 28,3 | 24   | 28,3 |
| FURNAS         | 6      | 23,3 | 17,9 | 28,9 | 29,9 | 24,4 | 40,5 | 30,4 | 26,2 | 29,5 |
| MARIMBONDO     | 17     |      | 14,6 | 23,3 | 22,9 | 19,6 | 24,4 | 20,6 | 17,5 | 17,7 |
| ITUMBIARA      | 31     | 18,2 | 21,9 | 24,7 | 22,8 | 25,1 | 24,9 | 13,3 | 12,5 | 20   |
| CORUMBA I      | 30     |      | 21,2 | 24,1 | 16,7 | 19,7 | 18,6 | 13,4 | 14,2 | 20,1 |
| ITAIPU         | 66     |      | 14,9 | 16,8 | 15,4 | 16,5 | 16,2 | 13,5 | 13   | 12,3 |

Fonte: ONS, 2009.

De 1997 a 2008 foram realizadas 126 avaliações anuais de índices MAPE para a previsão de vazões semanais. A distribuição desses dados por intervalos pode ser vista abaixo.

Ilustração 7.1 – Histograma de índices MAPE e ajuste a uma distribuição normal



Fonte: Elaborado pelo autor.

Pelo histograma ajustado aos dados da bacia do Rio Paraná, podemos concluir que as previsões de vazões mensais com MAPE de 20,02% estão dentro do intervalo de maior ocorrências observadas nos dados, dessa forma o modelo de curto prazo utilizado apresentou compatibilidade com os modelos utilizados pelo ONS, não demonstrando ser superior ou inferior à eles.

Já o modelo de médio prazo, utilizado para a previsão anual de vazões, apresentou desempenho inferior à maioria dos índices apurados (MAPE de 28,25%). Isto pode ser explicado devido ao horizonte temporal de previsão, já que as previsões dos relatórios do ONS são para 1 (uma) semana a frente, e o modelo utilizado neste trabalho é capaz de prever 12 (doze) meses à frente.

O modelo de curto prazo auxiliará na programação da manutenção dos equipamentos, principalmente nos períodos de estiagens. Já o modelo de médio prazo auxiliará nas decisões de investimento e na gestão energética das unidades consumidoras que utilizarão a energia gerada pela central.

## 8. PREVISÃO ANUAL DE VAZÕES E ENERGIA

Com a previsão da vazão natural afluyente para um determinado ano, é possível obter a energia natural afluyente que poderia ser gerada naquele ano. Para a realização da previsão de energia gerada é necessário utilizar o estudo de motorização desenvolvido no capítulo 5.

### 8.1 PREVISÃO ANUAL DE VAZÃO NATURAL AFLUENTE

A partir do modelo de médio prazo, que pode ser utilizado para prever vazões até 12 (doze) meses à frente (J6, F4, M5, A2, MI3, JN2, JL2, A1, S2, O2, N1 e D6), foram obtidas previsões de vazões naturais afluentes para o ano de 2008. Abaixo seguem as vazões previstas e as vazões observadas naquele ano.

Tabela 8.1 - Vazões naturais afluentes previstas e observadas para 2008

| Mês     | Modelo | Observada | Prevista    | Erro         | Erro %  | Erro % |
|---------|--------|-----------|-------------|--------------|---------|--------|
| 01/2008 | J6     | 0,284     | 0,431434317 | -0,147910353 | -52,17% | 52,17% |
| 02/2008 | F4     | 0,763     | 0,244656523 | 0,51869449   | 67,95%  | 67,95% |
| 03/2008 | M5     | 1,027     | 0,536081005 | 0,491234116  | 47,82%  | 47,82% |
| 04/2008 | A2     | 0,751     | 0,675930623 | 0,074685235  | 9,95%   | 9,95%  |
| 05/2008 | MI3    | 0,471     | 0,233164403 | 0,238069535  | 50,52%  | 50,52% |
| 06/2008 | JN2    | 0,322     | 0,332601345 | -0,010116588 | -3,14%  | 3,14%  |
| 07/2008 | JL2    | 0,256     | 0,272356647 | -0,016057662 | -6,27%  | 6,27%  |
| 08/2008 | A1     | 0,223     | 0,225810303 | -0,002580931 | -1,16%  | 1,16%  |
| 09/2008 | S2     | 0,195     | 0,184694901 | 0,01073634   | 5,49%   | 5,49%  |
| 10/2008 | O2     | 0,119     | 0,175968549 | -0,057466664 | -48,49% | 48,49% |
| 11/2008 | N1     | 0,161     | 0,205587966 | -0,044868783 | -27,92% | 27,92% |
| 12/2008 | D6     | 0,264     | 0,215958288 | 0,047898635  | 18,15%  | 18,15% |

Fonte: Elaborado pelo autor.

O valor do MAPE para as previsões de 2008 é 28,25%.

### 8.2 PREVISÃO ANUAL DA ENERGIA NATURAL AFLUENTE

Com as vazões previstas mensalmente para o ano de 2008, podemos prever o montante de energia anual produzida para cada uma das possibilidades de motorização descritas no capítulo 5. A produção de energia também leva em conta as mesmas condições operativas adotadas no capítulo 5, além de haver um aumento no

intervalo operativo, já que cada mês representa 730h de operação do sistema com a vazão média mensal prevista.

Abaixo seguem o rendimento do aproveitamento para os intervalos da curva de permanência de vazões e o mapa de produção de energia anual (kWh), ambos para as vazões previstas nos meses no ano de 2008.

Tabela 8.2 - Rendimento do aproveitamento para as vazões previstas no ano de 2008

| <b>Rendimento do Aproveitamento</b> |                               |        | <b>Máximo</b> | <b>71,64%</b> |        |        |        |        |        |        |        |        |        |              |
|-------------------------------------|-------------------------------|--------|---------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|
| Vazão de Projeto (m³/s)             | Vazão Mínima Turbinada (m³/s) | Jan    | fev           | mar           | abr    | mai    | jun    | jul    | ago    | set    | out    | nov    | dez    | <b>Médio</b> |
| 5,89                                | 2,36                          | 0,00%  | 0,00%         | 0,00%         | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%        |
| 1,57                                | 0,63                          | 0,00%  | 0,00%         | 0,00%         | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%        |
| 1,10                                | 0,44                          | 0,00%  | 0,00%         | 19,69%        | 44,52% | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 5,35%        |
| 0,88                                | 0,35                          | 19,64% | 0,00%         | 43,41%        | 60,39% | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 10,29%       |
| 0,76                                | 0,30                          | 34,26% | 0,00%         | 52,55%        | 63,10% | 0,00%  | 4,11%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 12,83%       |
| 0,63                                | 0,25                          | 54,97% | 0,00%         | 67,72%        | 73,32% | 0,00%  | 27,93% | 0,96%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 18,74%       |
| 0,53                                | 0,21                          | 62,90% | 8,16%         | 69,79%        | 70,37% | 1,55%  | 44,48% | 22,19% | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 23,29%       |
| 0,46                                | 0,18                          | 65,62% | 24,20%        | 68,27%        | 68,27% | 18,29% | 53,84% | 36,32% | 14,20% | 0,00%  | 0,00%  | 1,73%  | 8,36%  | 29,92%       |
| 0,41                                | 0,16                          | 68,27% | 36,96%        | 68,27%        | 68,27% | 31,72% | 60,51% | 47,24% | 28,04% | 2,16%  | 0,00%  | 16,48% | 22,68% | 37,55%       |
| 0,36                                | 0,14                          | 68,27% | 47,58%        | 68,27%        | 68,27% | 43,21% | 64,78% | 55,66% | 40,06% | 16,61% | 10,19% | 29,85% | 35,38% | 45,68%       |
| 0,33                                | 0,13                          | 67,42% | 54,14%        | 67,42%        | 67,42% | 50,69% | 66,50% | 60,14% | 48,13% | 27,71% | 21,82% | 39,48% | 44,23% | 51,26%       |
| 0,29                                | 0,12                          | 64,05% | 57,19%        | 64,05%        | 64,05% | 54,89% | 64,05% | 60,93% | 53,11% | 37,36% | 32,45% | 46,73% | 50,30% | 54,10%       |
| 0,26                                | 0,10                          | 71,64% | 67,61%        | 71,64%        | 71,64% | 65,83% | 71,64% | 70,69% | 64,43% | 50,58% | 45,89% | 59,09% | 62,13% | 64,40%       |
| 0,24                                | 0,09                          | 70,79% | 69,47%        | 70,79%        | 70,79% | 68,16% | 70,79% | 70,79% | 67,20% | 57,23% | 53,52% | 63,54% | 65,64% | 66,56%       |
| 0,21                                | 0,08                          | 68,69% | 68,69%        | 68,69%        | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,34% | 61,92% | 59,48% | 65,81% | 67,15% | 66,96%       |
| 0,19                                | 0,08                          | 68,18% | 68,18%        | 68,18%        | 68,18% | 68,18% | 68,18% | 68,18% | 68,18% | 64,97% | 63,35% | 67,90% | 68,18% | 67,49%       |
| 0,16                                | 0,06                          | 70,79% | 70,79%        | 70,79%        | 70,79% | 70,79% | 70,79% | 70,79% | 70,79% | 70,79% | 70,03% | 70,79% | 70,79% | 70,73%       |
| 0,14                                | 0,06                          | 68,69% | 68,69%        | 68,69%        | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,69% | 68,69%       |
| 0,12                                | 0,05                          | 63,21% | 63,21%        | 63,21%        | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21%       |
| 0,09                                | 0,03                          | 63,21% | 63,21%        | 63,21%        | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21% | 63,21%       |
| 0,05                                | 0,02                          | 0,00%  | 0,00%         | 0,00%         | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%  | 0,00%        |

Fonte: Elaborado pelo autor.



|      |      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |
|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| 0,12 | 0,05 | 29.935 | 29.935 | 29.935 | 29.935 | 29.935 | 29.935 | 29.935 | 29.935 | 29.935 | 29.935 | 29.935 | 29.935 | 29.935 | 359.217 |
| 0,09 | 0,03 | 22.071 | 22.071 | 22.071 | 22.071 | 22.071 | 22.071 | 22.071 | 22.071 | 22.071 | 22.071 | 22.071 | 22.071 | 22.071 | 264.847 |
| 0,05 | 0,02 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0       |

Fonte: Elaborado pelo autor.

A vazão de projeto selecionada no capítulo 5 foi de 0,26m<sup>3</sup>/s, implicando em uma potência bruta de 144,04kW e uma potência elétrica instalada (líquida) de 104,23kW. Com esta motorização a energia natural afluente prevista para o ano de 2008 foi 699.221kWh.

Levantada a previsão de geração da central para um período específico, pode ser feita a comparação dessa previsão com a previsão de geração de uma planta fotovoltaica que possua igual potência instalada e no mesmo período. Uma análise quanto a uma decisão excludente de investimento entre as duas plantas pode ser realizada a partir de informações financeiras de ambas.

Com a finalidade de se comparar o previsto com o observado, também foi realizado o cálculo da energia que seria gerada na central com as vazões médias mensais observadas no ano de 2008, com a mesma motorização citada anteriormente. O valor obtido foi de 697.369kWh, o que significa que a energia prevista foi 0,266% acima da energia observada.

Ainda que o índice MAPE das previsões para o ano de 2008 seja de 28,25%, a pequena diferença entre a energia prevista e energia observada para o mesmo período se dá devido a dois fatores. O primeiro fator é a metodologia de cálculo do índice MAPE, que considera a média dos erros percentuais absolutos, ou seja, o índice não leva em conta se as vazões previstas estão acima ou abaixo das vazões observadas e contabiliza os erros da mesma forma. O segundo fator é a natureza variável do rendimento do aproveitamento, algo que foi discutido na seção 5.4 desta dissertação.

## **9. CONCLUSOES E PERSPECTIVAS**

### **9.1 CONCLUSOES**

Os resultados do modelo estocástico de previsões de vazões de curto prazo (C7) foram bastante satisfatórios quando comparado aos resultados dos modelos estocásticos de curto prazo utilizados pelo ONS, que foram mostrados na Tabela 7.4.

O modelo de médio prazo, capaz de prever vazões até 12 (doze) meses à frente, permitiu determinar a energia natural afluyente para o aproveitamento analisado neste trabalho para o ano de 2008, resultando em 699,221 MWh. A comparação entre a ENA prevista e a observada, com o estudo de motorização adotado, apresentou desvio de 0,266%, o que significa um excelente resultado.

De posse de dados secundários de uma bacia hidrográfica adjacente, foi possível realizar o estudo hidrológico para a micro-bacia onde está localizado o aproveitamento, com consequente obtenção do estudo de motorização pelo critério do fator de capacidade e das vazões de cheia e mínima nas quais a central estaria sujeita.

As previsões de vazões feitas pelo modelo de curto prazo permitem a programação da manutenção do curso d'água para a central no mês corrente, já a energia prevista anualmente permite tomar decisões de investimento para o ano seguinte.

Como os modelos de previsão se mostraram satisfatórios, é possível aplicá-los diretamente no curso d'água estudado, bastando para isso a instalação de posto de coleta de dados de vazões e, a partir desses dados, realizar previsões que auxiliem na decisão de implantação da mini-central e da sua utilização como geração no âmbito do mecanismo de compensação de energia, conforme rege a resolução ANEEL 687/2015.

### **9.2 PERSPECTIVAS FUTURAS E SUGESTÕES**

Uma possibilidade de continuidade deste trabalho passa pela melhoria da qualidade das previsões realizadas, sendo que a adoção de modelos híbridos pode ser utilizada para este fim. Modelos estocásticos que utilizem informações históricas

de precipitação de chuvas no local estudado, além das informações históricas de vazão, são capazes de aumentar a acurácia das previsões. Também podem ser adotados modelos estocásticos com a informação da relação de chuva-vazão. Ambas as possibilidades podem melhorar os resultados obtidos, de forma semelhante ao realizado nos trabalhos apresentados no capítulo 2.

Outra sugestão de continuidade é a comparação da previsão de geração da central com a previsão de geração de uma planta fotovoltaica com potência instalada equivalente na mesma base temporal. Uma análise quanto a uma decisão de investimento excludente entre as duas plantas pode ser feita a partir da obtenção de informações financeiras de ambas as instalações.

Por último, também pode ser realizada a análise financeira da mini-central considerando cenários de incerteza relacionados à variabilidade das vazões e cenários relacionados a possíveis valores de locação da central.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Batista, A. L. F., “**Modelos de séries temporais e redes neurais na previsão de vazão**”. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.
- Bezerra, Manoel Ivanildo Silvestre. **Apostila de Análise de Séries Temporais**. Curso de Estatística, DMEC / FCT / UNESP, 2006.
- Bussab, W.O e Morettin, P. <sup>a</sup>, **Estatística Básica**, 4<sup>a</sup> Edição, Editora Atual, São Paulo, 1987.
- Cataldi, M.; Achão, Carla da C. Lopes; Machado, B. G. F.; Silva, S. B.; Guilhon, L. G. F. “**Aplicação das técnicas de Mineração de Dados como complemento às previsões estocásticas univariadas de vazão natural: estudo de caso para a bacia do rio Iguaçu**”. In: Workshop de Previsões, Rio de Janeiro: ONS, 2007.
- CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. (Brasil). **Diretrizes para Estudos e Projetos Básicos de Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCH**. Brasília: Eletrobrás, 1999.
- CEPEL. “**Modelo de Previsão de Vazões Semanais Aplicado ao Sistema Hidrotérmico Brasileiro – PREVIVAZ, Relatório Técnico DPP/PEL 125/97**”. Rio de Janeiro: CEPEL, 1997.
- Chiari, G.R.P.C.; Costa, J.C.E; Botelho, L.C.M; “**Previsão de Afluências na CEMIG: Aplicação do Sistema de Simulação Hidrológica Rio Grande para a Bacia Incremental do Rio Paranaíba entre as Uhe’s Itumbiara e São Simão**”. In: Workshop de Previsões, Rio de Janeiro: ONS, 2007.
- Colombo, Tâmilis C., Corseuil, Cláudia W., Back, Álvaro J., Mamedio, Felipe M. P., Sehnem, Mateus, Bellettini, Arieli. “**Estimativa de Vazão de uma Bacia Hidrográfica do Sul de Santa Catarina com Modelagem Hidrológica Distribuída**”, SICT 2016.
- CONEJO, A.J., PLAZAS, M.A., ESPINOLA, R. AND MOLINA, A.B. “**Day-Ahead Electricity Price Forecasting Using the Wavelet Transform and ARIMA Models**,” IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 20, No. 2, pp. 1035 – 1042, May 2005.
- CONTRERAS, J., ESPÍNOLA, R., NOGALES, F.J. AND CONEJO, A.J. “**ARIMA Models to Predict Next-Day Electricity Prices**,” IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 18, No. 3, pp. 1014-1020, August 2003.
- Costa, F. S.; Damázio, J. M.; Maceira, M. E. P.; “**Modelos de Previsão Hidrológica Aplicados ao Planejamento da operação do Sistema Elétrico Brasileiro**”. In: Workshop de Previsões, Rio de Janeiro: ONS, 2007.
- Cruz, A. V. A.; Figueiredo, K.; Barbosa, C. R. H.; Pacheco, M. A. C.; Mendes, M. H.; Vellasco, M.M.B.R.; Barros, M.; Souza, R. C.; Marques, V. S.; Contreras, R. J.; Duarte, U. M. “**Modelo de Previsão de Vazão com Informação de Precipitação Utilizando Redes Neurais**”. In: Workshop de Previsões, Rio de Janeiro: ONS, 2007.
- Cruz, Anamaria da Costa, **Estrutura e apresentação de projetos e trabalhos acadêmicos, dissertações e teses**, 1 Edição, Editora Interciência, Niterói, 2007;
- D. D. S. Alves, S. R. Silva, C. B. Martinez, “**Micro Central Hidroelétrica com BFT: Energia Renovável para o Abastecimento Rural**”. In: THE 8th LATIN-AMERICAN CONGRESS ON ELECTRICITY GENERATION AND TRANSMISSION – CLAGTEE, 2009

De Sá, Cleber Malta., **Pequenas Centrais Hidrelétricas, 3ª edição**, Goiânia, Brasil, 2012.

Fan, Fernando M., **“Previsão por Conjunto de Vazões Afluentes a Reservatórios em Grandes Bacias Hidrográficas Brasileiras”**. 2016. 424 f. Tese de Doutorado (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulica, UFRS, Porto Alegre, 2015.

Figueiredo, Nélio M., Blanco, Cláudio J. C., **“Modelos RNA como Ferramentas de Previsão de Afluências e de Níveis de Água em AHE”**. In: XXXVII Iberian Latin American Congress on Computational Methods in Engineering, 2016, Brasília – DF.

Gil, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 5ª Edição, Editora Atlas, São Paulo, SP, 2010;

Guilhon, L. G. F.; Rocha, V. F.; Moreira, J. C. **“Comparação de métodos de previsão de vazões naturais afluentes a aproveitamentos hidroelétricos”**. In: Workshop de Previsões, Rio de Janeiro: ONS, 2007.

Júnior, Antenor R.B., **Apostila de Elementos de Hidrologia Aplicada**. Curso Hidrologia Aplicada / Engenharia Civil, UFOP, 2016. Disponível em: <http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodrigues/index.php?menu=3&disc=214e101>. Acesso em: 07 dez.2016.

Kaviski, Eloy; Guilhon, Luiz G. F.; Castanharo, Giancarlo; Müller, Ingrid I.; Andriolo, M. Vinicius; Gibertoni, R. F. C; Rocha, Vinicius Forain; **“Previsão de vazões na bacia do rio Iguazu baseada no modelo SMAP e com incorporação de informações de precipitação”**. In: Workshop de Previsões, Rio de Janeiro: ONS, 2007.

Lino, Marcelo Menezes Reis Manoel de Oliveira. **Apostila de Análise Exploratória de Dados**. UFSC, 2014.

MARCONI, Marina de Andrade; Lakatos, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2001.

MINITAB User's Guide: **Data Analysis and Quality Tools**. Version 14.1 USA: Minitab Inc., 2003.

Montgomery, D. C., Jennings C. L., Kulahci, M. **Introduction to Time Series Analysis and Forecasting**. Editora Wiley Interscience, EUA, 2008.

Morettin, Pedro A., Toloi, Cléia M. C. **Análise de Séries Temporais, 2ª edição**, Editora Blucher, São Paulo, Brasil, 2006.

Naghettini, Mauro., Pinto, Éber J. A., **Hidrologia estatística, 1ª edição**, CPRM, Belo Horizonte, Brasil, 2007.

Neto, R. Krauskopf; Guetter, Alexandre K.; Mine, M. R. M.; **“Modelo Hidrológico com Atualização de Estado Parte I: Modelagem Hidrológica”**. In: Workshop de Previsões, Rio de Janeiro: ONS, 2007.

Neto, R. Krauskopf; Guetter, Alexandre K.; Mine, M. R. M.; **“Modelo Hidrológico com Atualização de Estado Parte II: Estimador de Estado Dinâmico-Estocástico”**. In: Workshop de Previsões, Rio de Janeiro: ONS, 2007.

Neto, R. Krauskopf; Guetter, Alexandre K.; Mine, M. R. M.; **“Modelo Hidrológico com Atualização de Estado Parte I: Modelagem Hidrológica”**. In: Workshop de Previsões, Rio de Janeiro: ONS, 2007.

Netto, Maria A. C. **A Previsão com a Metodologia de Box-Jenkins**. COPPE / UFRJ, Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ie.ufrj.br/download/APrevisaoComMetodologiadeBox-Jenkins.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2016.

Oliveira, Riene F. O., Zolin, Cornélio A., Torres, Renato C. T., Lopes, Tarcio R. **“Modelagem Hidrológica Utilizando o Modelo de Grandes Bacias MGB-IPH: estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Alto Teles Pires”**. In: IV Seminário da Rede Agrohidro – Embrapa, 2016, Brasília – DF. Anais.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (Brasil). **“Estudos para a Utilização da Versão 5.3 do Modelo Previvaz”**. Rio de Janeiro: ONS, 2010.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (Brasil). **“Procedimentos de Rede: Previsão de vazões e geração de cenários de afluências”**. Rio de Janeiro: ONS, 2011.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (Brasil). **“Procedimentos de Rede: Relação dos sistemas e modelos computacionais”**. Rio de Janeiro: ONS, 2009.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (Brasil). **“Relatório Anual de Avaliação das Previsões de Vazões – 2015”**. Rio de Janeiro: ONS, 2016.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (Brasil). **“Relatório Anual de Avaliação das Previsões de Vazões – 2007”**. Rio de Janeiro: ONS, 2008.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (Brasil). **“Relatório Anual de Avaliação das Previsões de Vazões – 2008”**. Rio de Janeiro: ONS, 2009.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (Brasil). **“Relatório Anual de Previsão de Vazões”**. Rio de Janeiro: ONS, 2001.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (Brasil). **“Relatório de Validação da Versão 5.3.5 do Programa Previvaz”**. Rio de Janeiro: ONS, 2015.

Paiva, Luana F. Gomes; Acioli, Giovanni C. L.; **“Previsão de Vazões com O modelo CPNIS – Calculo de Vazões Naturais e Incrementais a Sobradinho”**. In: Workshop de Previsões, Rio de Janeiro: ONS, 2007.

Pereira, Tatiane S. R., Santos, Kamila A., Silva, Bruna F., Formiga, Klebber T. M., Soares, Alexandre K., **“Desenvolvimento de um Modelo Chuva-Vazão via Tank Model e Calibração Automática”**, REEC 2015.

Ramos, Maria H., Fan, Fernando M., Collischonn, Walter, **“Sobre o uso de previsões hidrológicas probabilísticas para tomada de decisão.”**, RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos - Vol. 20 nº.4 - Porto Alegre - out./dez. 2015 - p. 914 - 926

Ricardo, Mateus. **Transposição de dados hidrológicos para a determinação da vazão de projeto de micro e minicentraís hidrelétricas: estudo de caso..** CERPCH / Unifei, Itajubá-MG. Disponível em: <http://cerpch.unifei.edu.br/wp-content/uploads/revistas/revista-28.pdf#page=14>. Acesso em: 07 dez 2016.

Santos, Paulo G. P, Oliveira, Terezinha F. **“Modelagem e previsão de vazão afluente média mensal no Rio Tocantins, Usina Hidrelétrica Tucuruí-Pará, Amazônia, Brasil”**, Biota Amazônica - Open Journal System 2016.

Silva, Benedito C.; Tucci, Carlos E. Morelli; Corbo, Martin D.; Clarke, Robin T.; Collischonn, Walter; **“Previsão Hidroclimática de Vazão de Curto Prazo na Bacia do Rio São Francisco”**. In: Workshop de Previsões, Rio de Janeiro: ONS, 2007.

Souza, Zulcy de., Nogueira, Fábio J. H., Bortoni, Edson da C., Ottoni, Arthur B., **Apostila de Geração Hidráulica I**. Curso CESE, Unifei, 2013.

Souza, Zulcy de., Santos, Afonso H. M., Bortoni, Edson da C., **Centrais Hidrelétricas – Implantação e Comissionamento, 2ª edição**, Editora Interciência, São Paulo, Brasil, 2009.

Tucci, C. E. M. **Regionalização de Vazões**. Editora da Universidade / UFRGS, Brasil, 2002.

V. A. R. Lopes, F. M. Fan, P. R. M. Pontes, V. A. Siqueira, W. Collischonn, and D. M. Marques, “**A first integrated modelling of a river-lagoon large-scale hydrological system for forecasting purposes**,” J. Hydrol., vol. 565, no. June, pp. 177–196, 2018.

Viana, Augusto N. Carvalho, Bortoni, Edson da C., Swerts, Renato, **Apostila de Operação de Turbinas Hidráulicas e Reguladores de Velocidade**. Curso Operação de Turbinas Hidráulicas e Reguladores de Velocidade, Fupai, 2016.

Viana, Augusto Nelson Carvalho, **Bombas Funcionando como Turbinas**, Editora Acta, Minas Gerais, Brasil, 2012.

West, M., Harrison, J., “**Bayesian Forecasting and Dynamic Models**”, Editora Springer-Verlag New York, EUA, 1997.

Y. Bai et al., “**Reservoir Inflow Forecast Using a Clustered Random Deep Fusion Approach in the Three Gorges Reservoir, China**,” J. Hydrol. Eng., vol. 23, no. 10, pp. 1–15, 2018.

Ynoguti, Carlos Alberto. **Probabilidade, Estatística e Processos Estocásticos**, Instituto Nacional de Telecomunicações, Inatel, 2011.

ZHOU, M., YAN, Z., NI, Y.X., LI, G.AND NIE, Y. “**Electricity price forecasting with confidence-interval estimation through an extended ARIMA approach**”, IEEE 2006.

# APÊNDICES

## APÊNDICE A – DADOS HIDROLÓGICOS

Neste apêndice estão listados os dados de vazões médias mensais das estações fluviométricas selecionadas no estudo hidrológico. São 14 estações, nomeadas de “A” até a estação “N”.

### A.1 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “A”

Série: A (Consistido, Média Diária, 07/1973 - 12/2007)

Médias Mensais

=====

| Ano   | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago   | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| 1973  |      |      |      |      |      |      |      | 2,73  | 3,03 | 3,60 | 6,53 | 6,80 |       |
| 1974  | 8,10 | 4,68 | 19,5 | 14,7 | 7,84 | 5,74 | 4,60 | 3,95  | 3,26 | 3,71 | 3,07 | 5,49 | 7,05  |
| 1975  | 6,31 | 4,94 | 3,05 | 4,03 | 2,72 | 1,99 | 1,89 | 1,50  | 1,26 | 1,90 | 6,12 | 4,35 | 3,34  |
| 1976  | 2,78 | 4,18 | 3,10 | 2,28 | 1,71 | 1,31 | 1,13 | 0,843 | 2,20 | 2,15 | 6,08 | 17,7 | 3,79  |
| 1977  | 21,7 | 10,6 | 5,97 | 4,75 | 3,69 | 3,05 | 2,57 | 1,96  | 1,86 | 3,01 | 5,32 | 9,17 | 6,14  |
| 1978  | 15,2 | 8,57 | 11,6 | 8,75 | 6,18 | 4,83 | 3,94 | 3,14  | 2,71 | 3,28 | 4,77 | 19,5 | 7,70  |
| 1979  | 21,7 | 37,3 | 18,6 | 12,8 | 10,0 | 8,00 | 6,53 | 5,67  | 5,24 | 5,64 | 7,01 | 6,93 | 12,1  |
| 1980  | 22,2 | 28,2 | 12,9 | 11,9 | 8,60 | 6,59 | 5,62 | 4,57  | 3,87 | 4,22 | 7,09 | 11,4 | 10,6  |
| 1981  | 24,8 | 12,3 | 10,7 | 8,20 | 7,27 | 5,32 | 4,57 | 3,75  | 3,10 | 9,25 | 17,8 | 14,3 | 10,1  |
| 1982  | 26,5 | 17,2 | 30,2 | 18,1 | 12,1 | 13,4 | 8,11 | 6,52  | 5,44 | 6,30 | 5,63 | 10,9 | 13,4  |
| 1983  | 24,3 | 31,6 | 16,3 | 14,8 | 10,4 | 8,21 | 8,06 | 6,28  | 5,27 | 8,38 | 14,5 | 33,8 | 15,2  |
| 1984  | 15,3 | 8,98 | 8,34 | 9,76 | 5,53 | 4,70 | 4,08 | 3,40  | 3,23 | 2,73 | 3,29 | 5,64 | 6,25  |
| 1985  | 21,3 | 13,0 | 13,0 | 7,94 | 5,52 | 4,78 | 4,06 | 3,45  | 3,03 | 2,83 | 5,44 | 17,2 | 8,46  |
| 1986  | 34,0 | 26,9 | 12,9 | 8,56 | 6,95 | 5,73 | 4,85 | 4,28  | 3,67 | 4,32 | 3,23 | 8,99 | 10,4  |
| 1987  | 9,64 | 7,08 | 6,33 | 7,82 | 4,76 | 3,79 | 2,93 | 2,45  | 2,34 | 2,28 | 6,03 | 22,9 | 6,53  |
| 1988  | 17,2 | 19,7 | 13,3 | 9,30 | 7,02 | 5,62 | 4,32 | 3,51  | 2,95 | 3,79 | 4,37 | 7,27 | 8,20  |
| 1989  | 7,46 | 11,2 | 5,95 | 4,92 | 3,71 | 3,41 | 2,99 | 2,64  | 2,23 | 2,18 | 5,69 | 22,4 | 6,23  |
| 1990  | 16,1 | 11,0 | 8,42 | 6,12 | 5,26 | 4,10 | 3,89 | 3,05  | 2,83 | 2,85 | 3,47 | 3,83 | 5,91  |
| 1991  | 9,23 | 10,8 | 18,8 | 11,7 | 7,09 | 5,34 | 4,18 | 3,39  | 3,06 | 3,42 | 6,97 | 7,04 | 7,58  |
| 1992  | 19,9 | 56,9 | 22,8 | 14,3 | 10,0 | 7,48 | 5,98 | 4,81  | 4,44 | 5,66 | 22,2 | 26,3 | 16,7  |
| 1993  | 15,2 | 12,5 | 7,60 | 7,37 | 5,02 | 4,56 | 3,49 | 2,91  | 2,43 | 2,53 | 3,05 | 5,21 | 5,99  |
| 1994  | 25,4 | 8,88 | 30,6 | 10,2 | 7,14 | 5,99 | 4,83 | 3,74  | 2,95 | 3,40 | 5,15 | 13,1 | 10,1  |
| 1995  | 7,15 | 32,3 | 8,99 | 6,05 | 5,11 | 3,74 | 3,31 | 2,65  | 2,13 | 2,18 | 3,77 | 8,56 | 7,17  |
| 1996  | 12,3 | 7,67 | 4,12 | 3,38 | 2,76 | 1,97 | 1,58 | 1,37  | 1,17 | 1,61 | 6,04 | 9,33 | 4,44  |
| 1997  | 15,3 | 8,51 | 8,89 | 9,32 | 5,78 | 5,23 | 3,83 | 2,89  | 2,32 | 2,17 | 3,55 | 13,1 | 6,75  |
| 1998  | 7,79 | 16,7 | 8,99 | 6,68 | 6,35 | 4,29 | 2,99 | 2,66  | 1,92 | 2,58 | 4,36 | 7,15 | 6,04  |
| 1999  | 8,69 | 6,15 | 13,5 | 6,25 | 4,61 | 3,67 | 2,91 | 2,30  | 1,80 | 1,81 | 4,82 | 7,65 | 5,34  |
| 2000  | 7,77 | 10,0 | 11,5 | 5,86 | 3,88 | 3,05 | 2,63 | 2,08  | 2,50 | 1,44 | 7,28 | 7,86 | 5,49  |
| 2001  | 7,07 | 3,19 | 4,10 | 2,64 | 2,14 | 1,73 | 1,39 | 1,14  | 1,09 | 1,65 | 2,96 | 4,41 | 2,79  |
| 2002  | 6,36 | 11,1 | 6,37 | 3,77 | 2,90 | 2,34 | 1,99 | 1,55  | 1,75 | 1,26 | 1,81 | 6,26 | 3,96  |
| 2003  | 17,5 | 9,63 | 8,81 | 6,34 | 4,62 | 3,60 | 2,92 | 2,37  | 1,99 | 1,70 | 6,18 | 5,82 | 5,96  |
| 2004  | 10,9 | 24,5 | 16,1 | 13,9 | 8,88 | 7,04 | 5,90 | 4,55  | 3,55 | 2,97 | 4,25 | 10,5 | 9,43  |
| 2005  | 17,9 | 15,0 | 20,4 | 9,77 | 7,42 | 5,97 | 4,98 | 4,06  | 3,05 | 2,38 | 7,39 | 23,0 | 10,1  |
| 2006  | 12,6 | 12,1 | 13,5 | 11,6 | 8,34 | 6,72 | 5,71 | 4,83  | 4,30 | 5,65 | 6,63 | 15,2 | 8,93  |
| 2007  | 36,4 | 30,8 | 15,2 | 11,6 | 9,11 | 7,51 | 6,31 | 5,18  | 4,10 | 3,44 | 3,89 | 4,29 | 11,5  |
| Média | 15,7 | 15,7 | 12,4 | 8,69 | 6,19 | 5,03 | 4,09 | 3,32  | 2,92 | 3,38 | 6,16 | 11,5 | 7,93  |

## A.2 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “B”

Série: B (Consistido, Média Diária, 07/1973 - 12/2007)

Médias Mensais

=====

| Ano   | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1973  |      |      |      |      |      |      |      | 11,2 | 9,31 | 12,0 | 28,2 | 27,2 |       |
| 1974  | 31,6 | 19,5 | 73,8 | 51,6 | 31,6 | 23,1 | 18,3 | 15,6 | 12,1 | 13,1 | 10,8 | 16,0 | 26,4  |
| 1975  | 25,3 | 21,2 | 11,7 | 14,1 | 9,88 | 7,08 | 6,20 | 4,66 | 3,32 | 6,80 | 30,2 | 24,3 | 13,7  |
| 1976  | 16,9 | 21,9 | 19,0 | 13,1 | 9,73 | 7,23 | 5,78 | 4,32 | 8,37 | 10,5 | 20,9 | 57,5 | 16,3  |
| 1977  | 66,2 | 58,3 | 25,7 | 23,1 | 16,5 | 13,5 | 10,8 | 8,35 | 7,56 | 11,2 | 15,7 | 35,6 | 24,4  |
| 1978  | 69,1 | 37,4 | 61,8 | 46,9 | 27,6 | 22,0 | 17,6 | 14,3 | 12,2 | 13,1 | 18,3 | 75,1 | 34,6  |
| 1979  | 108  | 126  | 84,5 | 51,7 | 38,1 | 30,8 | 24,8 | 20,7 | 19,6 | 16,5 | 22,9 | 34,6 | 48,2  |
| 1980  | 107  | 117  | 61,7 | 54,3 | 37,0 | 28,7 | 23,5 | 19,1 | 16,0 | 14,1 | 23,0 | 49,0 | 45,9  |
| 1981  | 96,8 | 48,7 | 41,4 | 39,8 | 27,6 | 23,8 | 19,4 | 16,7 | 13,9 | 19,9 | 64,0 | 75,7 | 40,6  |
| 1982  | 95,5 | 67,7 | 106  |      |      |      | 24,1 | 19,5 | 16,4 | 17,2 | 16,0 | 18,0 |       |
| 1983  | 67,0 | 98,1 | 63,9 | 55,2 | 36,3 | 27,7 | 22,8 | 18,4 | 15,9 | 23,9 | 31,2 | 84,5 | 45,4  |
| 1984  |      | 29,4 | 26,7 | 36,9 | 20,2 | 15,9 | 13,3 | 11,8 |      |      |      |      |       |
| 1985  |      |      |      |      |      |      |      |      | 10,1 | 8,18 | 14,5 | 29,3 |       |
| 1986  | 88,1 | 82,9 | 47,0 | 29,0 | 21,9 |      |      |      |      |      |      |      |       |
| 1987  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| 1988  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| 1989  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| 1990  |      |      |      |      |      |      |      |      | 9,30 | 7,88 | 8,13 | 9,19 |       |
| 1991  | 24,7 | 24,7 | 45,5 | 42,5 | 21,0 | 15,3 | 11,5 | 8,84 | 7,94 | 10,2 | 13,0 | 20,6 | 20,5  |
| 1992  | 67,7 | 124  | 79,3 | 49,3 | 34,6 | 25,7 | 20,5 | 16,5 | 15,1 | 18,5 | 62,9 | 78,5 | 49,4  |
| 1993  | 47,2 | 51,1 | 36,5 | 30,8 | 22,0 | 19,4 | 14,4 | 11,9 | 9,50 | 9,31 | 8,96 | 32,8 | 24,5  |
| 1994  | 61,7 | 29,9 | 81,1 | 40,7 | 27,2 | 20,1 | 16,2 | 12,2 | 9,31 | 8,73 | 15,4 | 27,2 | 29,1  |
| 1995  | 22,4 | 72,5 | 32,7 | 25,3 | 19,7 | 14,1 | 11,0 | 8,36 | 6,49 | 6,50 | 9,59 | 17,5 | 20,5  |
| 1996  | 28,9 | 19,1 | 15,1 | 12,5 | 9,59 | 7,38 | 6,34 | 5,51 | 4,72 | 4,79 | 15,5 | 27,5 | 13,1  |
| 1997  |      |      |      |      | 25,6 | 19,9 | 14,8 | 11,5 | 9,31 | 8,42 | 8,72 | 39,9 |       |
| 1998  | 30,1 | 46,6 | 29,9 | 19,8 | 17,6 | 14,0 | 9,90 | 8,03 | 5,43 | 5,98 | 9,14 | 21,5 | 18,2  |
| 1999  | 20,7 | 12,8 |      | 21,3 | 14,1 | 10,4 | 8,12 | 6,46 | 5,17 | 5,21 | 15,1 | 20,0 |       |
| 2000  | 50,3 | 47,4 | 48,0 | 26,3 | 17,4 | 13,0 | 10,6 | 8,60 | 10,8 | 6,05 | 17,2 | 31,4 | 23,9  |
| 2001  | 22,7 | 11,3 | 13,4 | 8,79 | 6,84 | 5,51 | 4,12 | 3,34 | 3,35 | 4,90 | 8,82 | 19,6 | 9,39  |
| 2002  | 45,0 | 58,3 | 38,2 | 20,7 | 14,9 | 11,6 | 9,41 | 6,98 | 6,83 | 4,28 | 6,36 | 22,0 | 20,4  |
| 2003  | 87,1 | 58,0 | 50,6 | 34,8 | 22,5 | 16,6 | 12,8 | 10,1 | 7,93 | 6,50 | 12,9 | 23,5 | 28,6  |
| 2004  | 50,2 | 111  | 103  | 80,2 | 45,6 | 31,5 | 24,6 | 18,3 | 13,4 | 11,0 | 12,5 | 45,8 | 45,6  |
| 2005  | 74,6 | 81,3 | 104  | 54,6 | 34,6 | 25,0 | 18,9 | 14,6 | 11,5 | 8,24 | 22,4 | 94,5 | 45,3  |
| 2006  | 43,9 | 43,4 | 73,0 | 55,9 | 31,7 | 23,2 | 18,4 | 14,2 | 12,3 | 16,3 | 22,1 | 72,9 | 35,6  |
| 2007  | 122  | 128  | 69,2 | 44,0 | 31,4 | 24,2 | 19,3 | 15,2 | 11,5 | 8,97 | 11,2 | 12,6 | 41,4  |
| Média | 58,2 | 58,8 | 53,4 | 36,4 | 24,0 | 18,4 | 14,9 | 11,9 | 10,2 | 10,6 | 19,2 | 38,1 | 30,0  |

## A.3 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “C”

Série: C (Consistido, Média Diária, 07/1973 - 05/2010)

Médias Mensais

=====

| Ano  | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|-------|
| 1973 |     |     |     |     |     |     |     | 4,18 | 4,44 | 4,91 | 7,63 | 7,50 |       |

|       |      |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 1974  | 8,40 | 5,80 | 16,4 | 5,86 | 3,24  | 2,29  | 1,80  | 1,43  | 1,07  | 1,44  | 1,09  | 1,34 | 4,17 |
| 1975  | 2,55 | 5,58 | 2,02 | 2,28 | 1,67  | 1,30  | 1,03  | 0,681 | 0,474 | 0,595 | 3,22  | 3,07 | 2,04 |
| 1976  | 1,90 | 3,68 | 3,41 | 1,91 | 1,33  | 0,905 | 0,715 | 0,515 | 1,31  | 1,35  | 4,02  | 7,26 | 2,36 |
| 1977  | 5,06 | 3,74 | 2,03 | 2,50 | 1,75  | 1,41  | 1,03  | 0,783 | 0,763 | 1,62  | 0,888 | 2,13 | 1,98 |
| 1978  | 4,99 | 4,17 | 7,58 | 3,11 | 2,29  | 1,87  | 1,42  | 1,03  | 0,819 | 0,853 | 0,947 | 4,64 | 2,81 |
| 1979  | 18,8 |      | 9,07 | 5,66 | 4,10  | 3,26  | 2,70  | 2,25  | 1,88  | 1,81  | 1,97  | 4,44 |      |
| 1980  | 19,9 | 18,9 | 7,28 | 7,00 | 4,42  | 3,36  | 2,77  | 2,25  | 2,02  | 1,83  | 3,00  | 5,68 | 6,53 |
| 1981  | 9,59 | 5,78 | 4,69 | 4,77 | 3,12  | 2,61  | 2,18  | 1,88  | 1,54  | 4,43  |       | 9,22 |      |
| 1982  | 11,0 | 6,69 | 15,7 | 7,97 | 5,72  | 4,16  | 3,44  | 2,81  | 2,50  | 2,52  | 2,98  | 3,05 | 5,71 |
| 1983  | 14,9 |      |      | 10,6 | 6,28  | 4,37  | 3,62  | 2,99  | 2,70  |       | 6,24  |      |      |
| 1984  |      | 4,79 | 3,95 | 5,08 | 3,14  | 2,51  | 2,16  | 1,90  | 1,68  | 1,40  | 1,76  | 3,99 |      |
| 1985  | 10,4 | 6,96 | 4,03 | 3,14 | 2,67  | 2,31  | 1,95  | 1,67  | 1,47  | 1,43  | 1,78  | 2,03 | 3,32 |
| 1986  | 7,69 | 8,61 | 3,80 | 2,60 | 2,15  | 1,72  | 1,43  | 1,21  | 1,08  | 0,853 | 1,13  | 3,06 | 2,94 |
| 1987  | 3,28 | 2,33 | 1,88 | 2,09 | 1,13  | 0,992 | 0,762 | 0,564 | 1,10  | 0,520 | 1,44  | 5,96 | 1,84 |
| 1988  | 3,51 | 2,66 | 2,65 | 2,45 | 1,74  | 1,31  | 0,897 | 0,665 | 0,523 | 1,45  | 2,14  | 3,30 | 1,94 |
| 1989  | 3,15 | 8,40 | 3,76 | 1,65 | 1,18  | 0,954 | 0,822 | 0,672 | 0,569 | 1,32  | 2,30  | 13,4 | 3,18 |
| 1990  | 7,30 | 3,46 | 3,17 | 2,18 | 1,76  | 1,61  | 1,70  | 1,24  | 1,23  | 1,22  | 1,86  | 5,45 | 2,68 |
| 1991  | 5,42 | 5,25 | 10,9 | 6,46 | 2,94  | 2,19  | 1,83  | 1,53  | 1,24  | 1,46  | 2,61  | 8,27 | 4,18 |
| 1992  | 10,2 |      | 7,66 | 4,10 | 3,73  | 2,93  | 2,33  | 2,01  | 2,00  | 2,40  | 8,34  | 15,7 |      |
| 1993  | 8,03 | 11,3 | 5,24 | 3,18 | 2,59  | 2,07  | 1,75  | 1,56  | 1,23  | 1,13  | 0,896 | 12,5 | 4,29 |
| 1994  | 6,04 | 3,39 | 3,32 | 3,25 | 2,34  | 1,99  | 1,66  | 1,31  | 1,01  | 1,12  | 2,38  | 3,75 | 2,63 |
| 1995  | 2,61 | 7,79 | 2,83 | 2,51 | 2,34  | 1,46  | 1,15  | 0,823 | 0,557 | 0,449 | 0,817 | 2,01 | 2,11 |
| 1996  | 3,26 | 2,28 | 1,81 | 1,45 | 1,06  | 0,898 | 0,715 | 0,573 | 0,502 | 0,437 | 1,12  | 1,89 | 1,33 |
| 1997  | 4,97 | 2,28 | 9,02 | 5,44 | 2,25  | 1,69  | 1,41  | 1,11  | 0,829 | 0,797 | 0,884 | 8,85 | 3,29 |
| 1998  | 3,94 | 2,95 | 1,84 | 1,39 | 1,27  | 1,08  | 0,873 | 0,739 | 0,521 | 0,729 | 2,29  | 3,34 | 1,75 |
| 1999  | 2,96 | 2,36 | 6,19 | 1,68 | 1,21  | 0,923 | 0,729 | 0,578 | 0,467 | 0,575 | 1,47  | 4,58 | 1,98 |
| 2000  | 5,39 | 7,37 | 6,96 | 3,60 | 2,23  | 1,77  | 1,32  | 1,07  | 0,987 | 0,650 | 1,56  | 3,88 | 3,07 |
| 2001  | 2,28 | 1,46 | 1,72 | 1,09 | 0,789 | 0,630 | 0,517 | 0,492 | 0,606 | 0,599 | 1,58  | 2,08 | 1,15 |
| 2002  | 3,14 | 3,26 | 2,75 | 1,70 | 1,05  | 0,767 | 0,656 | 0,509 | 0,454 | 0,370 | 0,809 | 2,69 | 1,51 |
| 2003  | 13,2 | 4,66 | 5,24 | 5,48 | 2,33  | 1,48  | 1,16  | 0,895 | 0,822 | 0,701 | 0,835 | 1,25 | 3,17 |
| 2004  | 4,62 | 11,3 | 8,37 | 6,14 | 3,04  | 1,90  | 1,50  | 1,13  | 0,841 | 1,67  | 1,16  | 4,12 | 3,82 |
| 2005  | 7,60 | 11,2 | 12,3 | 5,48 | 3,53  | 1,93  | 1,31  | 1,02  | 0,775 | 0,581 | 2,26  | 13,3 | 5,11 |
| 2006  | 6,03 | 5,16 | 7,40 | 6,04 | 3,76  | 2,55  | 1,84  | 1,34  | 1,02  | 1,83  | 2,60  | 9,17 | 4,06 |
| 2007  | 13,8 | 18,8 | 5,99 | 4,32 | 3,17  | 2,25  | 1,88  | 1,52  | 1,26  | 1,07  | 1,30  | 1,60 | 4,74 |
| 2008  | 1,96 | 5,28 | 7,11 |      | 3,26  | 2,23  | 1,77  | 1,54  | 1,35  | 0,820 | 1,11  | 1,83 |      |
| 2009  | 4,35 | 6,34 | 3,01 | 4,92 | 2,29  | 1,52  | 1,11  | 0,909 |       | 1,08  | 1,09  | 4,90 |      |
| 2010  | 4,00 | 2,15 | 2,97 | 5,58 |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
| Média | 6,84 | 6,06 | 5,67 | 4,02 | 2,58  | 1,92  | 1,55  | 1,33  | 1,21  | 1,33  | 2,21  | 5,31 | 3,09 |

#### A.4 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “D”

Série: D (Consistido, Média Diária, 10/1974 - 12/2007)

Médias Mensais

=====

| Ano  | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1974 |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 10,1 | 8,03 | 14,1 |       |
| 1975 | 26,6 | 29,3 | 13,5 | 14,3 | 9,81 | 7,19 | 6,40 | 4,57 | 3,95 | 5,92 | 26,3 | 28,6 | 14,7  |
| 1976 | 20,4 | 19,6 | 22,9 | 12,6 | 8,52 | 6,67 | 5,06 | 4,00 | 7,55 | 10,8 | 24,9 | 48,0 | 15,9  |
| 1977 | 57,7 | 69,7 | 21,1 | 24,1 | 14,5 | 12,9 | 8,05 | 5,90 | 5,29 | 7,14 | 10,4 | 35,7 | 22,7  |
| 1978 | 70,3 | 41,2 | 74,3 | 40,1 | 23,1 | 20,8 | 14,0 | 10,4 | 7,94 | 8,76 | 9,88 | 63,3 | 32,0  |
| 1979 |      |      | 83,2 | 48,7 | 36,1 | 29,2 | 22,9 | 18,6 | 19,6 | 16,4 | 22,7 | 27,7 |       |

|       |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| 1980  |      | 150  | 55,3 | 54,4 | 36,1 | 28,2 | 22,9 | 18,3  | 15,3 | 13,9 | 23,1 | 46,1 |      |
| 1981  |      | 48,9 | 37,5 | 38,4 | 26,4 | 22,9 | 17,5 | 14,2  | 11,6 | 19,2 | 54,3 | 63,8 |      |
| 1982  | 87,5 | 60,5 | 103  | 61,1 | 38,0 | 29,1 | 23,1 | 18,6  | 15,1 | 14,6 | 16,4 | 16,5 | 40,3 |
| 1983  | 66,0 |      | 64,1 | 59,2 | 39,0 | 29,4 | 24,0 | 19,2  | 17,0 | 27,9 | 42,2 | 94,1 |      |
| 1984  | 51,8 | 32,8 | 28,7 | 37,7 | 22,1 | 17,6 | 14,5 | 12,9  | 13,6 | 11,2 | 11,9 | 29,1 | 23,7 |
| 1985  | 60,5 | 63,3 | 45,2 | 30,9 | 22,4 | 17,3 | 14,4 | 12,0  | 10,5 | 9,64 | 14,4 | 23,7 | 27,0 |
| 1986  | 103  | 73,7 | 40,2 | 24,9 | 18,9 | 14,6 | 12,1 | 11,9  | 9,18 | 7,88 | 8,00 | 17,9 | 28,5 |
| 1987  | 27,2 | 16,8 | 14,9 | 16,8 | 11,0 | 8,91 |      |       |      |      | 9,22 | 50,7 |      |
| 1988  | 36,4 | 28,6 | 17,5 | 41,3 | 26,3 | 14,7 | 12,1 | 10,3  | 8,38 | 9,87 | 16,3 | 30,9 | 21,1 |
| 1989  | 31,3 | 33,3 | 27,1 | 22,3 | 13,6 | 11,4 | 8,99 | 7,65  | 6,85 | 7,84 | 21,9 | 84,8 | 23,1 |
| 1990  | 71,9 | 47,4 | 43,4 | 26,4 | 17,1 | 13,1 | 13,8 | 12,2  | 8,62 | 9,01 | 9,84 | 12,9 | 23,8 |
| 1991  | 33,8 | 31,1 | 52,0 | 50,6 | 26,2 | 14,9 | 12,9 | 11,4  | 8,13 | 13,5 | 12,0 | 39,3 | 25,5 |
| 1992  | 89,2 | 170  | 109  | 47,5 | 30,8 | 21,7 | 16,4 | 12,7  | 12,2 | 17,6 | 66,2 | 85,1 | 56,6 |
| 1993  | 56,1 | 55,4 | 47,7 | 42,1 | 23,4 | 18,6 | 13,0 | 10,00 | 11,8 | 12,9 | 13,6 |      |      |
| 1994  |      |      |      |      |      |      |      |       | 11,3 | 10,8 | 20,1 | 32,5 |      |
| 1995  | 29,1 | 69,7 | 39,1 | 31,8 | 23,9 | 17,9 | 14,5 | 11,6  | 9,41 | 8,79 | 13,6 | 22,2 | 24,3 |
| 1996  | 29,2 | 20,3 | 19,3 | 14,6 | 10,8 | 8,35 | 6,79 | 5,55  | 4,71 | 4,54 | 13,0 | 17,1 | 12,9 |
| 1997  | 54,6 | 29,4 | 42,1 | 40,2 | 23,2 | 18,4 | 13,5 | 10,3  | 8,26 | 7,66 | 8,39 | 36,6 | 24,4 |
| 1998  | 32,8 | 34,9 | 24,7 | 15,0 | 13,1 | 9,75 | 6,71 | 5,22  | 3,67 | 4,89 | 10,2 | 20,4 | 15,1 |
| 1999  | 16,1 | 10,6 | 47,8 | 17,3 | 11,0 | 8,08 | 6,20 | 4,63  | 3,41 | 4,42 | 15,8 | 25,1 | 14,2 |
| 2000  | 47,6 | 58,3 | 52,2 | 29,4 | 18,3 | 13,8 | 11,0 | 8,50  | 9,93 | 5,87 | 18,6 | 44,1 | 26,5 |
| 2001  | 21,2 | 11,5 | 12,7 | 8,47 | 6,65 | 5,18 | 3,88 | 2,70  | 3,65 | 4,31 | 9,85 | 22,0 | 9,34 |
| 2002  | 40,9 | 51,8 | 34,3 | 19,5 | 12,2 | 8,91 | 6,78 | 4,80  | 4,71 | 2,75 | 7,43 | 18,9 | 17,7 |
| 2003  | 88,7 | 53,9 | 47,8 | 40,7 | 22,6 | 17,0 | 13,0 | 10,7  | 9,64 | 9,65 | 9,11 | 17,2 | 28,3 |
| 2004  | 36,6 | 118  | 94,8 | 60,3 | 35,9 | 24,1 | 19,2 | 14,5  | 10,6 | 9,92 | 11,0 | 29,8 | 38,7 |
| 2005  | 53,7 | 75,8 | 93,1 | 44,4 | 28,6 | 21,4 | 16,8 | 13,5  | 11,2 | 8,86 | 19,4 | 98,4 | 40,4 |
| 2006  | 45,8 | 37,0 | 56,1 | 43,9 | 27,1 | 20,0 | 16,2 | 13,1  | 11,3 | 17,1 | 23,6 | 77,8 | 32,4 |
| 2007  | 127  | 159  | 53,0 | 35,7 | 25,9 | 20,4 | 16,5 | 13,3  | 10,4 | 8,50 | 11,2 | 12,5 | 41,1 |
| Média | 52,2 | 56,7 | 47,4 | 34,2 | 22,0 | 16,6 | 13,3 | 10,7  | 9,53 | 10,4 | 18,0 | 39,0 | 26,2 |

## A.5 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “E”

Série: E (Consistido, Média Diária, 08/1965 - 12/2007)

Médias Mensais

=====

| Ano  | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1965 |      |      |      |      |      |      |      | 32,8 | 27,3 | 52,7 | 94,4 | 150  |       |
| 1966 | 303  | 378  | 182  | 110  | 70,6 | 47,1 | 37,2 | 29,7 | 25,3 | 70,1 | 52,0 | 146  | 121   |
| 1967 | 140  | 183  | 154  | 92,5 | 52,2 | 38,2 | 30,3 | 24,5 | 21,7 | 20,4 | 80,4 | 202  | 86,6  |
| 1968 | 140  | 164  | 191  | 87,6 | 49,3 | 38,0 | 31,7 | 29,6 | 28,6 | 45,4 | 53,0 | 106  | 80,4  |
| 1969 | 110  | 111  | 94,2 | 48,2 | 38,9 | 30,2 | 26,3 | 22,9 | 20,8 | 44,9 | 228  | 217  | 82,8  |
| 1970 | 425  | 325  | 155  | 82,8 | 50,7 | 37,8 | 29,8 | 23,7 | 22,8 | 43,5 | 50,7 | 53,5 | 108   |
| 1971 | 31,5 | 31,4 | 48,7 | 34,1 | 20,8 | 21,2 | 16,9 | 15,4 | 19,8 | 40,5 | 127  | 393  | 66,7  |
| 1972 | 111  | 121  | 121  | 77,6 | 42,3 | 33,8 | 32,9 | 24,4 | 22,7 | 53,0 | 131  | 93,8 | 72,1  |
| 1973 | 124  | 107  | 134  | 129  | 50,5 | 37,9 | 32,2 | 26,5 | 23,6 | 59,0 | 116  | 110  | 79,3  |
| 1974 | 101  | 56,9 | 255  | 221  | 75,3 | 48,2 | 37,0 | 31,0 | 23,2 | 38,4 | 31,3 | 64,1 | 81,9  |
| 1975 | 124  | 100  | 43,1 | 68,6 | 38,1 | 28,9 | 26,8 | 22,2 | 19,4 | 49,4 | 108  | 83,7 | 59,4  |
| 1976 | 61,0 | 62,6 | 78,3 | 42,2 | 30,1 | 22,9 | 22,1 | 18,3 | 45,0 | 38,8 | 110  | 290  | 68,5  |
| 1977 | 252  | 241  | 67,4 | 80,1 | 42,4 | 31,7 | 24,2 | 19,0 | 19,8 | 33,1 | 48,4 | 159  | 84,8  |
| 1978 | 376  | 130  | 213  | 119  | 67,0 | 51,1 | 39,8 | 31,1 | 26,4 | 46,9 | 56,7 | 289  | 120   |
| 1979 | 467  | 684  | 265  | 143  | 91,5 | 73,7 | 53,9 | 43,0 | 45,6 | 37,3 | 81,1 | 122  | 176   |

|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1980  | 480  | 529  | 180  | 189  | 89,2 | 69,2 | 55,5 | 44,2 | 36,7 | 37,3 | 95,8 | 215  | 168  |
| 1981  | 446  | 159  | 145  | 158  | 71,8 | 63,0 | 46,9 | 39,0 | 31,2 | 63,6 | 254  | 296  | 148  |
| 1982  | 388  | 214  | 432  | 214  | 108  | 78,3 | 61,7 | 50,0 | 41,9 | 47,6 | 59,0 | 81,3 | 148  |
| 1983  | 331  |      | 314  | 207  | 107  | 78,7 | 63,1 | 49,7 | 44,0 | 136  | 234  | 389  |      |
| 1984  | 182  | 97,3 | 86,9 | 106  | 55,3 | 44,8 | 39,1 | 35,3 | 45,3 | 37,5 | 43,7 | 126  | 74,9 |
| 1985  | 304  | 248  | 225  | 107  | 69,6 | 51,6 | 43,9 | 37,8 | 37,0 | 37,3 | 72,5 | 141  | 114  |
| 1986  | 438  | 311  | 144  | 78,9 | 59,1 | 46,9 | 39,8 | 40,1 | 31,7 | 31,1 | 32,0 | 87,6 | 112  |
| 1987  | 103  | 65,1 | 66,6 | 71,3 | 38,7 | 30,9 | 25,7 | 22,2 | 26,9 | 30,0 | 43,5 | 222  | 62,1 |
| 1988  | 174  | 157  | 123  | 90,9 | 50,2 | 37,5 | 29,4 | 24,3 | 19,4 | 31,2 | 39,6 | 110  | 73,9 |
| 1989  | 84,7 | 133  | 113  | 47,2 | 33,2 | 30,9 | 24,7 | 22,2 | 33,1 | 32,6 | 104  | 401  | 88,2 |
| 1990  | 213  | 113  | 92,3 | 48,9 | 44,4 | 29,3 | 28,2 | 22,0 | 20,3 | 27,8 | 27,3 | 43,5 | 59,1 |
| 1991  | 166  | 157  | 232  | 187  | 70,0 | 46,4 | 34,4 | 28,0 | 24,3 | 39,4 | 61,7 | 136  | 98,4 |
| 1992  | 364  | 628  | 269  | 132  | 86,3 | 60,6 | 45,8 | 35,5 | 33,7 | 57,5 | 231  | 337  | 190  |
| 1993  | 156  | 171  | 107  | 79,6 | 51,7 | 45,8 | 35,2 | 28,8 | 26,9 | 31,5 | 39,4 | 195  | 80,6 |
| 1994  | 338  | 92,6 | 361  | 120  | 70,7 | 50,3 | 40,1 | 31,2 | 22,7 | 21,8 | 52,2 | 111  | 109  |
| 1995  | 84,1 | 194  | 95,6 | 85,4 | 48,7 | 32,4 | 26,9 | 21,2 | 16,3 | 17,1 | 38,9 | 81,7 | 61,9 |
| 1996  | 110  | 57,6 | 49,3 | 36,3 | 26,6 | 22,1 | 18,6 | 18,0 | 15,8 | 17,5 | 63,9 | 102  | 44,8 |
| 1997  | 299  | 127  | 137  | 135  | 68,3 | 56,7 | 40,1 | 31,9 | 27,9 | 25,5 | 32,8 | 166  | 95,6 |
| 1998  | 162  | 200  | 121  | 48,3 | 44,2 | 37,7 | 24,8 | 21,9 | 15,4 | 19,0 | 58,0 | 99,8 | 71,1 |
| 1999  | 65,0 | 58,3 | 256  | 56,9 | 35,4 | 28,0 | 22,8 | 18,0 | 15,2 | 19,1 | 76,2 | 113  | 63,6 |
| 2000  | 235  | 229  | 202  | 99,5 | 58,6 | 44,1 | 35,0 | 28,5 | 36,3 | 21,1 | 97,4 | 136  | 102  |
| 2001  | 82,7 | 34,2 | 37,8 | 24,7 | 19,9 | 16,1 | 13,2 | 12,1 | 12,7 | 18,9 | 52,9 | 87,8 | 34,4 |
| 2002  | 220  | 257  | 121  | 58,1 | 40,1 | 29,2 | 22,8 | 17,4 | 20,7 | 11,1 | 31,6 | 82,3 | 75,9 |
| 2003  | 345  | 211  | 162  | 114  | 69,6 | 50,1 | 39,2 | 33,0 | 26,8 | 20,4 | 41,9 | 77,2 | 99,2 |
| 2004  | 155  | 461  | 363  | 265  | 117  | 84,0 | 68,7 | 50,2 | 35,4 | 32,9 | 40,4 | 138  | 151  |
| 2005  | 200  | 270  | 324  | 128  | 86,8 | 62,1 | 49,3 | 38,5 | 31,0 | 21,8 | 84,0 | 371  | 139  |
| 2006  | 149  | 122  | 251  | 153  | 86,3 | 63,9 | 50,7 | 38,4 | 36,4 | 63,8 | 95,6 | 374  | 124  |
| 2007  | 466  | 532  | 170  | 111  | 81,4 | 61,7 | 49,8 | 40,8 | 30,3 | 24,0 | 41,6 | 66,0 | 140  |
| Média | 226  | 208  | 171  | 107  | 59,7 | 45,1 | 36,1 | 29,6 | 27,6 | 38,3 | 81,7 | 169  | 98,0 |

## A.6 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “F”

Série: F (Consistido, Média Diária, 01/1976 - 12/2005)

Médias Mensais

=====

| Ano  | Jan   | Fev   | Mar   | Abr   | Mai   | Jun   | Jul  | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez   | Média |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1976 | 30,8  | 33,8  | 35,3  | 6,86* | 14,9  | 13,2  | 14,6 | 13,1  | 39,1  | 20,2  | 26,0* | 38,9* | 23,9* |
| 1977 | 86,6* | 49,7  | 28,5  | 34,8  | 21,3  | 18,7  | 15,7 | 15,5  | 16,1  | 22,7  | 18,3  | 34,2* | 30,2* |
| 1978 | 193   | 60,8  | 24,8  | 24,2  | 21,0  | 16,4  | 14,2 | 11,8  | 10,7  | 28,9  | 23,0  |       |       |
| 1979 |       |       | 86,2  | 82,4* | 33,2  | 24,3  | 21,9 | 21,3  | 24,6  | 20,0  | 49,6  | 39,3* |       |
| 1980 |       |       |       |       |       | 48,0* | 22,8 | 19,9  | 17,4  | 17,8  | 47,3  | 96,1* |       |
| 1981 | 189   | 60,2  | 71,5* | 56,5  | 32,9  | 32,5  | 27,5 | 24,8  | 22,5  | 33,8* | 89,8* | 106*  | 62,2* |
| 1982 | 70,2* | 78,0  | 267   | 111*  | 61,6* | 49,5* | 37,9 | 35,2  | 35,0  | 40,2  | 29,6* | 25,0* | 70,0* |
| 1983 | 98,1* | 326   | 161   |       |       |       | 34,5 |       |       |       | 163   | 183   |       |
| 1984 | 80,6  | 48,2* | 41,9* | 48,8* | 37,0  | 34,2  | 33,1 | 15,5* | 19,2* | 36,1  | 43,0  | 68,8* | 42,2* |
| 1985 |       | 94,1* | 126   | 45,7  | 28,5  | 21,4  | 19,3 | 17,5  | 18,1  | 18,6  | 40,9  | 68,0  |       |
| 1986 | 178   | 116   | 54,7  | 29,0  | 21,0  | 17,7  | 16,9 | 18,5  | 15,4  | 16,3  | 17,6  | 36,5  | 44,9  |
| 1987 | 41,1  | 31,0  | 28,4  | 32,7  | 17,0  | 13,6  | 13,8 | 12,2  | 13,7  | 16,0  | 20,3  | 88,9  | 27,4  |
| 1988 | 73,7  | 65,8  | 31,3  | 26,8  | 14,5  | 13,1  | 12,2 | 11,2  | 10,2  | 15,8  | 24,3  | 65,3  | 30,4  |
| 1989 | 36,0  | 66,3  | 44,4  | 14,8  | 12,4  | 11,9  | 12,1 | 11,6  | 12,6  | 17,7  | 59,5  | 122   | 35,1  |
| 1990 | 108*  | 61,6* | 34,4  | 15,3  | 17,7  | 10,3  | 12,6 | 11,2  | 11,6  | 18,4  | 19,0  | 28,8  | 29,1* |

|       |       |      |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1991  | 82,2  | 121  | 85,3* | 90,4* | 38,9* | 17,2  | 15,2  | 14,7  | 14,9  | 29,0  | 19,5  | 69,7  | 49,8* |
| 1992  | 128   | 137  | 93,4  | 66,3* | 54,8* | 37,4* | 32,2* | 28,6* | 28,4  | 46,6  | 123   | 140   | 76,3* |
| 1993  | 63,3  | 76,1 | 55,4  | 49,1  | 33,5  | 29,4  | 26,0  | 25,8  | 27,0  | 31,5  | 40,6  | 120   | 48,1  |
| 1994  | 163   | 38,2 | 193   | 52,1  | 35,0  | 27,4  | 24,6  | 20,8  | 18,2  | 20,1  | 44,0  | 63,5  | 58,3  |
| 1995  | 49,2  | 72,4 | 48,6  | 47,0  | 39,5* | 20,5  | 19,5  | 18,0  | 16,0  | 21,0  | 36,3  | 66,9  | 37,9* |
| 1996  | 62,9  | 41,3 | 32,1  | 24,6  | 17,6* | 14,3* | 17,5  | 17,1  | 17,1  | 20,0  | 27,0* | 26,4* | 26,5* |
| 1997  |       |      |       |       |       | 21,8  | 15,6  | 12,4  | 13,8  | 13,9  | 27,8  | 97,9  |       |
| 1998  | 96,0* | 122  | 65,3  | 23,6  | 24,4  | 19,2  | 14,4  | 15,3  | 9,81  | 16,2  | 47,9  | 56,1  | 42,6* |
| 1999  | 41,5  |      | 153   | 21,2  | 15,1  | 12,8  | 12,2  | 11,6  | 10,5  | 14,2  | 50,7  | 70,9  |       |
| 2000  | 163   | 113  | 90,7  | 41,6  | 17,5? | 13,9  | 13,0* | 11,9  | 16,7  | 9,99* | 111   | 71,4  | 56,1  |
| 2001  | 49,0  | 22,0 | 23,2  | 14,7  | 15,1* | 12,3  | 9,56  | 12,2  | 11,4  | 14,2  | 53,0  | 67,6  | 25,3* |
| 2002  |       |      | 41,3? | 20,3  | 23,8  | 12,9  | 11,8  | 9,89  | 17,3  | 12,6  | 24,0  | 76,9  |       |
| 2003  | 164*  | 62,7 | 83,8  | 44,0  | 23,8  | 15,4  | 13,4  | 11,8* | 16,3? | 14,2  | 29,0  | 41,4  | 43,3? |
| 2004  | 112   | 220* | 163   | 170   | 56,9  | 43,6* | 40,1  | 34,3  | 28,0* | 27,6  | 32,6  | 64,9  | 82,7* |
| 2005  | 97,8  | 109  | 96,7* | 35,4  | 24,3  | 20,2  | 16,7  | 13,5  | 12,1  | 10,1  | 53,0  | 196   | 57,0* |
| Média | 98,3  | 89,1 | 80,7  | 45,5  | 27,9  | 22,2  | 19,7  | 17,2  | 18,1  | 21,5  | 46,4  | 76,9  | 45,4  |

\* - estimado

## A.7 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “G”

Série: G (Consistido, Média Diária, 05/1955 - 12/2007)

Médias Mensais

=====

| Ano  | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1955 |      |      |      |      |      | 55,2 | 43,6 | 35,3 | 28,5 | 65,9 | 95,1 | 236  |       |
| 1956 | 355  |      | 364  | 97,0 | 129  | 111  | 67,4 | 55,3 | 46,9 | 44,5 | 148  | 495  |       |
| 1957 | 646  | 498  | 619  | 561  | 269  | 171  | 123  | 97,6 | 88,4 | 89,3 | 100  | 281  | 295   |
| 1958 |      | 267  |      |      | 92,6 | 68,6 | 62,4 | 47,7 | 49,2 | 67,7 |      |      |       |
| 1959 | 200  | 138  | 347  | 110  | 70,7 | 59,1 | 52,7 | 46,3 | 38,8 |      |      | 223  |       |
| 1960 |      |      |      | 93,1 |      |      | 54,8 | 44,3 | 38,1 | 54,1 |      | 356  |       |
| 1961 | 606  | 547  | 274  | 148  | 124  | 87,4 | 70,8 | 60,2 | 47,4 |      |      |      |       |
| 1962 |      |      | 351  | 147  | 119  | 77,4 | 64,4 | 52,1 | 47,2 | 61,9 | 140  | 593  |       |
| 1963 | 490  | 395  | 170  | 119  | 87,7 | 73,0 | 63,0 | 53,1 | 44,6 | 36,1 | 67,1 | 48,1 | 137   |
| 1964 | 342  | 427  | 118  | 129  | 72,4 | 50,6 | 47,9 | 39,0 | 29,6 |      |      |      |       |
| 1965 |      |      |      |      |      |      |      | 63,0 | 52,5 | 101  | 160  | 256  |       |
| 1966 | 493  | 622  | 307  | 193  | 138  | 101  | 81,8 | 65,2 | 54,4 | 129  | 98,9 | 244  | 211   |
| 1967 | 256  | 304  | 269  | 176  | 106  | 81,1 | 66,1 | 54,5 | 46,2 | 41,5 | 135  | 331  | 155   |
| 1968 | 277  | 311  | 361  | 172  | 99,9 | 77,1 | 64,0 | 57,5 | 53,3 | 75,9 | 108  | 205  | 155   |
| 1969 | 185  | 207  | 182  | 91,1 | 69,0 | 49,4 | 40,7 | 34,1 | 29,0 | 61,0 | 376  | 341  | 139   |
| 1970 | 596  | 526  | 290  | 152  | 102  | 81,1 | 67,6 | 55,9 | 51,1 | 82,0 | 119  | 88,7 | 184   |
| 1971 | 58,1 | 51,3 | 76,9 | 51,4 | 29,8 | 30,4 | 23,7 | 21,2 | 26,4 | 55,8 | 182  | 568  | 97,9  |
| 1972 | 185  | 169  | 200  | 145  | 71,5 | 56,2 | 52,7 | 39,4 | 33,7 | 76,5 | 205  | 186  | 118   |
| 1973 | 193  | 167  | 206  | 210  | 84,9 | 62,8 | 52,1 | 40,7 | 35,8 | 96,1 | 193  | 200  | 129   |
| 1974 | 172  | 89,4 | 378  | 300  | 130  | 88,9 | 69,9 | 58,2 | 44,8 | 64,5 | 51,0 | 99,4 | 129   |
| 1975 | 189  | 162  | 68,2 | 99,6 | 52,4 | 38,1 | 35,1 | 27,5 | 22,6 | 62,1 | 148  | 127  | 86,0  |
| 1976 | 87,0 | 97,6 | 117  | 55,8 | 41,0 | 32,5 | 29,9 | 23,4 | 62,0 | 55,5 | 161  | 381  | 95,3  |
| 1977 | 400  | 400  | 115  | 139  | 81,0 | 63,1 | 49,6 | 39,9 | 39,1 | 54,6 | 76,8 | 227  | 140   |
| 1978 | 545  | 218  | 361  | 203  | 120  | 97,8 | 75,9 | 57,9 | 49,9 | 82,2 | 92,1 | 442  | 195   |
| 1979 | 627  | 908  | 469  | 267  | 178  | 152  | 113  | 93,7 | 89,3 | 80,8 | 167  | 190  | 278   |
| 1980 | 733  | 805  | 337  | 351  | 183  | 140  | 116  | 94,6 | 80,2 | 75,7 | 171  | 365  | 288   |
| 1981 | 664  | 314  | 256  | 265  | 140  | 123  | 95,2 | 78,4 | 65,1 | 117  | 404  | 478  | 250   |

|       |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1982  | 563 | 394  | 660  | 390  | 202  | 153  | 121  | 99,3 | 84,1 | 88,2 | 106  | 127  | 249  |
| 1983  | 501 |      | 503  | 348  | 194  | 144  | 117  | 95,0 | 84,0 | 221  | 365  | 616  |      |
| 1984  | 308 | 174  | 154  | 184  | 102  | 82,5 | 72,0 | 61,0 | 77,4 | 64,5 | 68,2 | 231  | 131  |
| 1985  | 443 | 426  | 372  | 177  | 118  | 91,1 | 76,1 | 65,2 | 60,3 | 67,6 | 110  | 213  | 185  |
| 1986  | 637 | 492  | 244  | 141  | 107  | 84,6 | 74,1 | 72,3 | 55,8 | 52,7 | 51,6 | 135  | 179  |
| 1987  | 178 | 113  | 108  | 118  | 65,2 | 50,6 | 42,6 | 34,6 | 40,6 | 48,6 | 60,4 | 342  | 100  |
| 1988  | 268 | 248  | 197  | 157  | 92,1 | 73,4 | 59,1 | 49,7 | 39,7 | 55,9 | 77,6 | 184  | 125  |
| 1989  | 154 | 232  | 189  | 87,7 | 61,1 | 53,9 | 44,6 | 40,0 | 42,6 | 49,0 | 155  | 557  | 139  |
| 1990  | 382 | 208  | 178  | 98,0 | 88,6 | 62,9 | 62,3 | 48,1 | 47,1 | 50,5 | 48,6 | 79,9 | 113  |
| 1991  | 251 | 261  | 376  | 332  | 130  | 83,8 | 64,1 | 54,6 | 46,4 | 79,7 | 97,1 | 220  | 166  |
| 1992  | 510 | 846  | 474  | 237  | 169  | 117  | 93,6 | 76,9 | 74,4 | 107  | 399  | 559  | 305  |
| 1993  |     |      | 199  | 164  | 110  | 93,7 | 74,0 | 65,9 | 63,3 | 63,3 | 67,7 | 294  |      |
| 1994  | 587 | 183  | 611  | 229  | 145  | 113  | 91,0 | 72,1 | 56,2 | 53,2 | 119  | 211  | 206  |
| 1995  | 172 | 345  | 186  | 157  | 106  | 75,3 | 62,1 | 50,1 | 41,7 | 42,6 | 81,1 | 145  | 122  |
| 1996  | 187 | 111  | 94,8 | 68,3 | 50,9 | 41,1 | 34,3 | 31,5 | 28,0 | 30,3 | 107  | 152  | 77,9 |
| 1997  | 440 | 199  | 227  | 216  | 106  | 86,5 | 62,4 | 49,1 | 43,1 | 41,7 | 48,8 | 263  | 149  |
| 1998  | 253 | 324  | 218  | 88,8 | 80,0 | 69,9 | 46,9 | 41,0 | 29,4 | 35,6 | 90,1 | 158  | 119  |
| 1999  | 111 | 86,1 | 402  | 101  | 65,1 | 51,1 | 42,0 | 34,9 | 29,7 | 34,8 | 120  | 193  | 106  |
| 2000  | 407 | 385  | 340  | 171  | 95,5 | 71,6 | 59,0 | 46,8 | 57,7 | 36,3 | 151  | 221  | 170  |
| 2001  | 153 | 68,3 | 76,2 | 52,0 | 40,4 | 32,9 | 26,6 | 24,0 | 27,9 | 36,7 | 92,4 | 128  | 63,2 |
| 2002  | 365 | 403  | 219  | 101  | 71,2 | 53,1 | 43,3 | 33,2 | 38,2 | 24,7 | 54,2 | 125  | 128  |
| 2003  | 532 | 365  | 269  | 191  | 102  | 71,6 | 54,3 | 44,1 | 41,0 | 35,0 | 57,8 | 115  | 156  |
| 2004  | 243 | 663  | 640  | 457  | 179  | 117  | 94,1 | 71,3 | 53,7 | 47,5 | 55,9 | 202  | 235  |
| 2005  | 363 | 472  | 560  | 216  | 128  | 94,5 | 73,7 | 58,4 | 48,5 | 38,1 | 125  | 642  | 235  |
| 2006  | 270 | 203  | 431  | 268  | 129  | 93,6 | 75,6 | 60,9 | 54,2 | 97,0 | 160  | 627  | 206  |
| 2007  | 749 | 819  | 316  | 182  | 126  | 98,4 | 79,7 | 64,4 | 50,7 | 42,8 | 59,7 | 96,6 | 224  |
| Média | 369 | 340  | 296  | 184  | 109  | 82,1 | 65,9 | 54,3 | 49,2 | 65,5 | 132  | 276  | 166  |

## A.8 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “H”

Série: H (Consistido, Média Diária, 10/1974 - 10/2007)

Médias Mensais

=====

| Ano  | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago   | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|-------|
| 1974 |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      | 6,35 | 6,50 |       |
| 1975 | 12,9 | 16,8 | 6,03 | 6,92 | 3,72 | 2,75 | 2,41 | 2,00  | 1,55 | 2,88 | 7,09 | 5,80 | 5,90  |
| 1976 | 2,60 | 3,97 | 7,08 | 2,25 | 1,94 | 1,44 | 1,12 | 0,937 | 1,48 | 2,08 | 12,9 | 37,4 | 6,26  |
| 1977 | 29,3 | 28,1 | 6,84 | 6,78 | 3,90 | 2,63 | 2,02 | 1,47  | 1,27 | 3,09 | 6,83 | 19,7 | 9,33  |
| 1978 | 49,5 | 30,1 | 57,4 | 31,7 | 15,5 | 12,6 | 7,77 | 5,22  | 3,96 | 5,89 | 8,03 | 25,2 | 21,1  |
| 1979 | 57,4 | 71,2 | 51,3 | 37,8 | 21,3 | 15,0 | 11,4 | 8,31  | 6,70 | 7,64 | 11,8 | 10,6 | 25,9  |
| 1980 | 52,1 | 67,4 | 34,8 | 27,3 | 16,5 | 12,3 | 9,31 | 6,51  | 5,94 | 5,03 | 12,3 | 37,2 | 23,9  |
| 1981 | 57,9 | 32,7 | 23,9 | 28,2 | 14,3 | 11,4 | 8,85 | 7,06  | 5,64 | 10,4 | 38,5 | 48,6 | 24,0  |
| 1982 | 66,1 | 44,2 | 58,6 | 42,2 | 24,3 | 17,8 | 13,3 | 9,60  | 8,21 | 7,28 | 6,59 | 8,52 | 25,6  |
| 1983 | 44,0 | 64,1 | 54,3 | 39,8 | 22,0 | 16,6 | 11,4 | 8,99  | 7,17 | 9,89 | 19,9 | 57,5 | 29,6  |
| 1984 | 31,8 | 17,5 | 14,4 | 30,2 | 11,3 | 7,73 | 6,61 | 5,86  | 6,42 | 5,28 | 5,42 | 34,4 | 14,7  |
| 1985 | 54,5 | 37,3 | 37,9 | 24,3 | 13,7 | 10,2 | 7,75 | 6,04  | 5,40 | 5,54 | 6,67 | 15,8 | 18,8  |
| 1986 | 47,6 | 39,0 | 19,1 | 10,5 | 7,63 | 5,74 | 5,14 | 4,88  | 3,96 | 4,00 | 3,47 | 14,5 | 13,8  |
| 1987 | 18,7 | 12,0 | 7,53 | 6,74 | 4,47 | 3,02 | 3,14 | 2,70  | 2,67 | 2,61 | 7,56 | 44,0 | 9,59  |
| 1988 | 23,1 | 34,3 | 32,6 | 29,4 | 16,2 | 9,10 | 6,36 | 4,84  | 3,61 | 6,48 | 25,0 | 25,1 | 18,0  |
| 1989 | 24,0 | 16,3 | 17,0 | 10,7 | 6,43 | 4,10 | 3,99 | 3,01  | 3,86 | 13,7 | 37,0 | 75,8 | 18,0  |
| 1990 | 52,4 | 27,9 | 26,6 | 15,1 | 11,7 | 8,72 | 8,72 | 6,89  | 7,08 | 5,37 |      | 21,3 |       |

|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| 1991  | 30,5 | 31,3 | 53,8 | 50,5 | 20,2 | 13,3 | 9,28 | 6,80 | 5,70 | 6,15  | 11,2 | 18,4 | 21,4 |
| 1992  | 40,1 | 70,9 | 39,0 | 25,1 | 25,2 | 17,5 | 12,0 | 8,77 | 10,7 | 23,6  | 43,1 | 55,6 | 31,0 |
| 1993  | 41,0 |      | 44,5 |      |      |      | 8,30 | 7,15 | 5,83 | 5,66  | 5,58 | 24,6 |      |
| 1994  | 58,4 | 23,7 | 48,9 | 27,5 | 12,8 | 9,53 | 7,78 | 5,72 | 4,84 | 4,73  | 19,8 | 30,4 | 21,2 |
| 1995  | 31,8 | 38,0 | 23,3 | 20,8 | 12,8 | 8,06 | 6,18 | 5,04 | 4,11 | 4,04  | 8,20 | 20,2 | 15,2 |
| 1996  | 18,5 | 6,90 | 17,5 | 11,7 | 5,35 | 3,51 | 3,01 | 2,55 | 2,19 | 1,96  | 6,93 | 9,78 | 7,50 |
| 1997  | 23,0 | 14,9 | 33,2 | 32,8 | 15,9 |      |      | 4,43 | 3,81 | 3,24  | 3,00 | 22,3 |      |
| 1998  | 17,0 | 18,7 | 9,57 | 4,71 | 3,87 | 2,98 | 2,22 | 1,82 | 1,54 | 2,23  | 9,59 | 23,7 | 8,16 |
| 1999  | 11,5 | 5,59 | 35,8 | 8,44 | 4,77 | 2,78 | 2,22 | 1,59 | 1,41 | 1,76  | 7,70 | 27,1 | 9,22 |
| 2000  | 24,6 | 30,8 | 52,9 | 21,6 | 9,78 | 5,76 | 3,79 | 2,73 | 2,92 | 2,06  | 9,82 | 30,4 | 16,4 |
| 2001  | 15,5 | 4,95 | 5,58 | 2,85 | 1,99 | 1,56 | 1,24 | 1,16 | 1,58 | 1,59  | 10,6 | 19,2 | 5,65 |
| 2002  | 18,7 | 21,7 | 14,0 | 12,1 | 3,99 | 2,57 | 1,90 | 1,33 | 3,33 | 0,910 | 1,82 | 14,8 | 8,10 |
| 2003  | 48,6 | 38,4 | 18,5 | 37,9 | 9,88 | 3,79 | 1,76 | 1,75 | 1,79 | 2,38  | 3,66 | 15,2 | 15,3 |
| 2004  | 30,7 | 84,2 | 56,4 | 51,2 | 22,1 | 12,8 | 8,46 | 4,53 | 4,00 | 2,56  | 5,85 | 19,3 | 25,2 |
| 2005  | 44,4 | 58,0 | 64,2 | 37,2 | 15,8 | 10,6 | 8,67 | 4,81 | 2,63 | 3,15  | 16,9 | 66,7 | 27,8 |
| 2006  | 43,8 | 25,7 | 50,1 | 52,4 | 21,0 | 13,5 | 9,58 | 5,49 | 6,25 | 11,3  | 30,7 | 37,3 | 25,6 |
| 2007  | 46,1 | 55,0 | 56,0 |      |      |      |      | 4,78 | 3,47 |       |      |      |      |
| Média | 35,4 | 33,5 | 32,7 | 24,1 | 12,3 | 8,31 | 6,31 | 4,69 | 4,28 | 5,45  | 12,8 | 28,0 | 17,3 |

## A.9 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “I”

Série: I (Consistido, Média Diária, 09/1973 - 12/2007)

Médias Mensais

=====

| Ano  | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1973 |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 3,74 | 10,6 | 9,61 |       |
| 1974 | 9,20 | 6,65 | 20,6 | 10,0 | 5,77 | 4,59 | 3,98 | 3,25 | 2,57 | 4,43 | 3,27 | 3,81 | 6,51  |
| 1975 | 6,23 | 13,4 | 4,21 | 7,51 | 3,59 | 2,84 | 2,36 | 1,79 | 1,43 | 3,03 | 24,1 | 6,83 | 6,44  |
| 1976 | 4,88 | 6,62 | 6,52 | 4,13 | 3,02 | 2,11 | 1,61 | 1,35 | 2,14 | 2,52 | 12,8 | 13,1 | 5,07  |
| 1977 | 10,3 | 6,63 | 3,97 | 4,65 | 3,40 | 2,38 | 1,87 | 1,41 | 1,63 | 4,39 | 4,75 | 9,06 | 4,53  |
| 1978 | 15,5 | 11,1 | 22,1 | 7,51 | 5,66 | 4,72 | 4,05 | 3,24 | 2,53 | 4,28 | 3,05 | 13,3 | 8,09  |
| 1979 | 36,7 | 48,5 | 18,1 | 12,0 | 7,55 | 5,88 | 5,16 | 4,61 | 3,99 | 4,46 | 5,04 | 9,44 | 13,4  |
| 1980 | 29,5 | 26,3 | 9,80 | 10,2 | 7,04 | 5,58 | 4,48 | 3,64 | 3,55 | 3,16 | 9,33 | 16,7 | 10,8  |
| 1981 | 23,9 | 12,0 | 9,90 | 9,70 | 6,19 | 5,49 | 4,33 | 3,97 | 2,90 | 9,29 | 16,7 | 20,3 | 10,4  |
| 1982 | 30,5 | 14,1 | 36,9 | 15,4 | 8,89 | 6,58 | 5,41 | 4,73 | 4,05 | 3,93 | 3,99 | 4,99 | 11,6  |
| 1983 | 23,5 | 32,5 | 19,5 | 15,1 | 9,25 | 6,62 | 5,51 | 4,72 |      |      | 10,9 | 33,0 |       |
| 1984 | 14,2 | 11,0 | 7,75 | 13,5 | 6,50 | 5,18 | 4,29 | 3,78 | 3,66 | 3,26 | 3,85 | 11,8 | 7,40  |
| 1985 | 20,5 | 13,2 | 11,2 | 7,53 | 6,10 | 4,84 | 4,00 | 3,40 | 3,03 | 3,47 | 6,47 | 14,1 | 8,15  |
| 1986 | 28,3 | 13,8 | 7,55 | 5,29 | 4,61 | 3,96 | 3,30 | 3,16 | 2,37 | 2,06 | 2,09 | 8,69 | 7,10  |
| 1987 | 5,75 | 4,81 | 4,90 | 3,59 | 3,29 | 2,41 | 1,73 | 1,32 | 2,20 | 4,57 | 7,95 | 24,6 | 5,59  |
| 1988 | 7,56 | 14,7 |      |      | 7,59 | 4,76 |      |      |      |      |      |      |       |
| 1989 |      |      |      | 4,12 | 3,19 | 2,32 | 2,39 | 3,14 | 1,89 | 5,11 |      |      |       |
| 1990 |      |      |      | 5,07 | 4,88 | 3,92 | 3,44 | 2,96 | 2,83 | 4,52 |      | 5,47 |       |
| 1991 | 9,74 | 14,5 | 31,3 | 13,0 | 6,46 | 4,07 | 3,83 | 3,63 | 3,13 | 2,70 | 4,55 | 13,9 | 9,23  |
| 1992 | 30,6 | 48,1 | 24,7 | 27,5 | 11,9 | 6,50 | 5,97 | 5,71 | 4,78 | 28,0 | 50,3 | 69,6 | 26,1  |
| 1993 | 54,0 | 28,3 | 12,7 | 10,5 | 12,5 | 5,19 | 3,83 | 3,46 | 2,84 | 3,08 | 2,60 | 27,8 | 13,9  |
| 1994 | 37,6 | 23,2 |      |      | 6,00 | 4,95 | 3,84 | 2,77 | 2,40 | 2,43 | 3,64 | 8,61 |       |
| 1995 | 15,6 | 15,1 | 12,5 | 7,83 | 5,67 | 4,49 | 3,55 | 2,78 | 2,10 | 2,15 | 4,41 | 6,69 | 6,90  |
| 1996 | 7,03 | 4,94 | 5,69 | 4,60 | 3,08 | 2,51 | 1,96 | 1,57 | 1,49 | 1,36 | 2,88 | 4,77 | 3,49  |
| 1997 | 12,1 | 6,72 | 12,2 | 12,5 | 6,30 | 7,67 | 4,20 | 2,92 | 2,83 | 3,02 | 2,40 | 13,8 | 7,23  |
| 1998 | 8,93 | 6,37 | 5,46 | 4,35 | 3,51 | 2,55 | 1,95 | 1,59 | 1,19 | 3,07 | 5,33 | 10,3 | 4,55  |

|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1999  | 5,79 | 4,66 | 10,6 | 3,87 | 3,00 | 2,10 | 1,91 | 1,49 | 1,38 | 2,78 | 10,3 | 17,3 | 5,43 |
| 2000  | 14,0 | 14,1 | 33,5 | 10,1 | 5,02 | 3,63 | 3,04 | 2,66 | 2,79 | 2,29 | 4,90 | 11,2 | 8,92 |
| 2001  | 7,65 | 3,65 | 4,92 | 2,45 | 2,04 | 1,66 | 1,31 | 1,39 | 1,73 | 1,34 | 3,62 | 5,34 | 3,09 |
| 2002  | 7,24 | 17,4 |      |      |      |      | 2,09 | 1,81 | 1,69 | 1,11 | 4,02 | 9,38 |      |
| 2003  | 14,7 | 9,63 | 11,7 | 10,5 | 6,48 | 3,52 | 2,78 | 2,65 | 1,91 | 1,68 | 3,42 | 4,83 | 6,15 |
| 2004  | 18,5 | 42,4 | 20,1 | 17,9 | 9,49 | 6,28 | 4,47 | 3,59 | 2,76 | 2,44 | 3,32 | 11,6 | 11,9 |
| 2005  | 15,6 | 24,3 | 30,2 | 10,2 | 6,31 | 4,50 | 3,67 | 2,91 | 2,76 | 2,23 | 7,35 | 27,5 | 11,5 |
| 2006  | 7,81 | 10,0 | 17,9 | 11,9 | 5,72 | 4,13 | 3,58 | 2,91 | 2,70 | 3,14 | 8,18 | 30,7 | 9,05 |
| 2007  | 20,4 | 37,8 | 13,0 | 7,09 | 4,20 | 3,20 | 2,45 | 2,26 | 1,82 |      |      |      |      |
| Média | 17,3 | 17,1 | 14,8 | 9,33 | 5,89 | 4,28 | 3,40 | 2,93 | 2,53 | 4,03 | 7,94 | 14,9 | 8,61 |

## A.10 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “J”

Série: J (Consistido, Média Diária, 11/1956 - 12/2007)

Médias Mensais

=====

| Ano  | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1956 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 270  |       |
| 1957 | 329  |      |      | 346  | 157  | 113  | 91,1 | 74,5 | 64,8 | 61,5 | 92,1 | 210  |       |
| 1958 | 152  | 241  | 153  | 189  | 102  | 79,5 | 71,2 | 56,8 | 52,7 | 60,8 | 49,9 | 93,3 | 108   |
| 1959 | 255  | 117  | 138  | 76,2 | 56,4 | 49,3 | 40,3 | 32,6 | 26,6 | 37,7 | 113  | 90,3 | 86,1  |
| 1960 | 169  | 137  | 259  | 107  | 74,0 | 57,6 | 47,1 | 37,7 | 29,8 | 34,7 | 88,6 | 172  | 101   |
| 1961 | 291  | 211  | 138  | 78,3 | 72,3 | 49,2 | 40,2 | 32,1 | 24,8 | 25,2 | 29,1 | 95,2 | 90,5  |
| 1962 | 179  | 238  | 207  | 79,7 | 66,4 | 46,1 | 37,9 | 29,5 | 27,4 | 58,5 | 71,9 | 376  | 118   |
| 1963 | 235  | 219  | 89,0 | 68,2 | 53,0 | 43,6 | 35,8 | 28,7 | 22,8 | 18,7 | 38,9 | 40,0 | 74,4  |
| 1964 | 244  | 183  | 89,1 | 72,4 | 45,9 | 34,4 | 30,6 | 21,8 | 18,4 | 64,6 | 144  | 153  | 91,8  |
| 1965 | 164  | 116  | 170  | 118  | 71,2 | 54,7 | 47,4 | 37,6 | 30,1 | 56,1 | 122  | 97,7 | 90,4  |
| 1966 | 290  | 384  | 178  | 121  | 90,3 | 68,0 | 56,1 | 46,4 | 38,3 | 53,0 | 64,2 | 144  | 128   |
| 1967 | 114  | 170  | 184  | 120  | 71,0 | 53,0 | 43,0 | 34,5 | 30,0 | 27,7 | 87,0 | 269  | 100   |
| 1968 | 136  | 277  | 223  | 117  | 74,7 | 60,4 | 51,2 | 43,4 | 41,0 | 42,2 | 83,9 | 154  | 109   |
| 1969 | 77,1 | 147  | 132  | 65,9 | 55,7 | 42,7 | 36,7 | 29,3 | 24,7 | 37,4 | 198  | 291  | 94,7  |
| 1970 | 438  | 218  | 232  | 136  | 84,0 | 66,2 | 55,6 | 47,1 | 46,3 | 78,3 | 117  | 86,8 | 134   |
| 1971 | 53,2 | 51,0 | 63,3 | 47,0 | 29,9 | 23,7 | 19,1 | 17,0 | 16,3 | 46,8 | 135  | 371  | 72,8  |
| 1972 | 107  | 96,3 | 103  | 131  | 59,6 | 46,3 | 39,7 | 30,0 | 24,5 | 44,3 | 187  | 262  | 94,2  |
| 1973 | 183  | 125  | 208  | 135  | 68,3 | 54,0 | 45,5 | 35,6 | 29,8 | 115  | 284  | 197  | 123   |
| 1974 | 141  | 85,6 | 374  | 224  | 111  | 79,3 | 64,0 | 56,2 | 43,5 | 56,9 | 61,0 | 82,8 | 115   |
| 1975 | 145  | 84,0 | 53,5 | 131  | 57,0 | 44,1 | 37,1 | 28,9 | 23,5 | 36,3 | 80,7 | 52,2 | 64,5  |
| 1976 | 45,5 | 75,4 | 102  | 50,9 | 38,3 | 29,5 | 22,7 | 18,2 | 26,8 | 49,1 | 125  | 244  | 69,0  |
| 1977 | 207  | 161  | 70,0 | 87,2 | 58,3 | 47,0 | 37,1 | 29,3 | 26,7 | 44,9 | 67,5 | 176  | 84,3  |
| 1978 | 266  | 271  | 391  | 245  | 109  | 104  | 70,6 | 57,0 | 48,1 | 69,5 | 75,0 | 183  | 157   |
| 1979 | 558  | 697  | 288  | 203  | 123  | 96,7 | 80,9 | 68,6 | 63,9 | 59,9 | 131  | 117  | 207   |
| 1980 | 427  | 568  | 198  | 245  | 129  | 102  | 84,5 | 69,4 | 67,2 | 55,5 | 99,3 | 189  | 186   |
| 1981 | 317  | 125  | 181  | 210  | 107  | 85,9 | 67,9 | 58,1 | 45,5 | 87,6 |      | 273  |       |
| 1982 |      | 230  | 464  | 186  |      | 122  | 107  | 121  |      |      |      | 82,9 |       |
| 1983 | 433  | 522  |      | 233  | 142  | 106  | 86,8 | 72,1 | 63,1 | 82,4 |      | 320  |       |
| 1984 | 177  | 112  | 119  | 288  | 91,3 | 71,4 | 59,5 | 52,6 | 62,8 | 62,4 | 56,9 | 172  | 110   |
| 1985 | 253  | 130  | 304  | 149  | 89,8 | 68,3 | 58,4 | 50,1 | 43,2 | 56,8 | 85,5 | 181  | 122   |
| 1986 | 331  | 217  | 121  | 76,1 | 67,5 | 51,8 | 46,9 | 46,9 | 34,7 | 36,1 | 35,9 | 83,5 | 95,7  |
| 1987 |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 58,4 | 64,2 |      |       |
| 1988 |      |      | 273  | 178  | 94,5 | 70,2 | 57,7 | 48,5 | 39,6 | 46,2 | 102  | 264  |       |
| 1989 | 173  | 135  | 117  | 67,5 | 53,3 | 43,2 | 36,5 | 30,2 | 45,3 | 22,1 |      |      |       |

|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1990  |      |      | 138  | 95,0 | 88,5 | 64,9 | 64,9 | 46,3 | 51,5 |      |      |      | 58,6 |
| 1991  | 108  | 166  | 366  | 290  |      |      |      |      |      | 50,6 | 165  | 205  |      |
| 1992  | 275  | 660  |      |      |      |      |      |      |      | 78,6 | 241  | 262  |      |
| 1993  | 172  | 300  | 156  | 135  | 90,5 |      |      |      | 42,3 | 44,1 | 58,5 | 161  |      |
| 1994  | 234  | 94,8 | 409  | 156  | 87,6 | 72,6 | 59,9 | 52,5 | 44,5 | 38,3 | 102  | 129  | 123  |
| 1995  | 129  | 142  | 109  | 94,9 | 77,3 | 53,5 | 42,9 | 33,8 | 25,1 | 49,2 | 125  | 270  | 95,9 |
| 1996  | 106  | 63,7 | 101  | 84,7 |      | 35,7 | 27,1 | 22,2 |      | 25,7 | 83,6 | 73,5 |      |
| 1997  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1998  |      |      |      |      | 44,7 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1999  |      | 69,0 | 190  | 60,0 | 43,9 |      |      | 17,8 | 16,0 | 25,2 | 55,4 | 170  |      |
| 2000  | 135  | 176  | 322  | 89,9 | 59,6 | 47,2 | 38,8 | 30,6 | 37,1 | 23,7 | 93,7 | 145  | 99,9 |
| 2001  | 80,4 | 47,8 | 81,9 | 44,1 | 34,4 | 26,3 | 20,3 | 15,4 | 15,8 | 22,8 | 88,3 | 88,9 | 47,2 |
| 2002  | 147  | 158  | 124  | 63,0 | 39,4 | 31,6 | 24,1 | 17,5 | 16,0 | 14,8 | 43,6 |      |      |
| 2003  | 152  | 87,7 | 110  | 95,5 | 57,2 | 39,5 | 10,1 | 9,68 | 8,48 | 6,70 | 24,6 | 59,5 | 55,0 |
| 2004  | 154  | 547  | 395  | 274  | 114  | 79,3 | 77,0 | 63,0 | 62,7 | 81,8 | 89,6 | 175  | 176  |
| 2005  | 203  |      |      | 170  | 87,9 | 65,3 | 70,9 | 75,3 | 73,3 | 59,8 | 137  |      |      |
| 2006  | 222  | 99,4 | 288  | 214  | 114  | 85,0 | 83,0 | 86,9 | 67,7 | 72,9 | 163  |      |      |
| 2007  | 269  |      | 215  | 111  | 94,5 | 70,0 | 68,5 | 66,6 | 51,5 | 32,4 | 35,3 | 74,0 |      |
| Média | 211  | 208  | 196  | 140  | 78,6 | 62,2 | 52,1 | 44,0 | 38,5 | 49,2 | 99,9 | 170  | 107  |

## A.11 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “K”

Série: K (Consistido, Média Diária, 07/1966 - 07/2007)

Médias Mensais

=====

| Ano  | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1966 |      |      |      |      |      |      |      | 29,7 | 22,5 | 29,0 | 29,0 |      |       |
| 1967 |      | 95,5 | 147  | 131  | 70,1 | 45,4 | 32,3 | 23,2 |      |      |      | 69,3 |       |
| 1968 | 70,7 |      |      |      |      |      | 26,5 |      |      |      | 42,1 |      |       |
| 1969 |      |      |      |      | 32,9 |      |      |      |      |      |      |      |       |
| 1970 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| 1971 | 31,8 | 28,6 | 35,6 | 35,2 | 25,8 | 21,1 | 13,6 | 10,6 | 9,74 | 26,1 | 79,9 |      |       |
| 1972 | 87,8 | 76,3 | 78,8 | 88,3 | 52,5 | 38,5 | 30,6 | 21,7 | 15,9 | 27,7 | 96,4 |      |       |
| 1973 | 100  | 102  |      |      | 61,8 | 44,9 | 37,0 | 26,5 | 19,7 | 52,3 | 117  | 105  |       |
| 1974 |      | 65,0 |      | 148  | 84,2 | 57,2 | 44,0 | 36,4 | 25,2 | 30,2 | 30,1 | 44,2 |       |
| 1975 | 99,3 | 113  | 54,9 | 78,3 | 50,1 | 35,6 | 28,7 | 19,8 | 13,4 | 18,8 | 43,2 | 50,4 | 50,4  |
| 1976 | 51,3 | 53,8 | 86,3 | 57,0 | 37,3 | 26,2 | 18,5 | 12,3 | 13,9 | 18,1 | 68,7 | 157  | 50,1  |
| 1977 | 148  | 122  | 59,3 | 68,5 | 44,6 | 35,0 | 25,2 | 17,5 | 14,2 | 15,9 | 24,3 | 60,7 | 52,9  |
| 1978 | 131  | 103  | 178  | 108  | 68,8 | 56,4 | 42,0 | 31,8 | 26,0 | 31,4 | 35,9 | 92,5 | 75,4  |
| 1979 | 240  | 296  | 164  | 145  | 81,9 | 64,6 | 50,4 | 40,2 | 38,8 | 34,1 | 48,2 | 56,3 | 105   |
| 1980 | 198  | 246  | 112  | 118  | 84,1 | 62,2 | 49,5 | 37,8 | 34,3 | 30,0 | 53,8 | 108  | 94,5  |
| 1981 | 231  | 106  | 106  | 115  | 78,3 | 62,6 | 49,1 | 38,2 | 28,3 | 51,2 | 130  | 152  | 95,7  |
| 1982 | 216  | 142  | 270  | 169  | 108  | 82,7 | 62,0 | 49,9 | 40,3 | 41,9 | 40,4 | 56,3 | 106   |
| 1983 | 234  | 275  | 199  | 147  | 102  | 78,5 | 60,5 | 47,7 | 41,4 | 54,4 | 93,1 | 191  | 127   |
| 1984 | 132  | 87,6 | 87,0 | 155  | 68,2 | 50,9 | 41,0 | 34,5 | 36,3 | 28,7 | 24,8 | 69,7 | 67,9  |
| 1985 | 150  | 96,5 | 126  | 88,1 | 62,8 | 46,3 | 38,5 | 30,6 | 25,5 | 26,2 | 34,7 | 78,1 | 66,9  |
| 1986 | 149  | 120  | 79,6 | 49,5 | 41,1 | 31,2 | 27,3 | 26,3 | 18,9 | 16,1 | 19,2 | 52,4 | 52,5  |
| 1987 | 81,1 | 66,2 | 69,1 | 63,7 | 51,1 | 34,3 | 24,4 | 17,0 | 13,4 | 16,5 | 47,3 | 188  | 56,0  |
| 1988 | 121  | 138  | 156  | 113  | 71,5 | 53,6 | 41,2 | 32,3 | 23,4 | 28,1 | 62,5 | 87,0 | 77,4  |
| 1989 | 97,8 | 96,9 | 86,4 | 52,4 | 36,6 | 30,4 | 24,5 | 20,5 | 18,5 | 22,2 | 77,7 | 116  | 56,6  |
| 1990 | 183  | 96,3 | 89,1 | 72,3 | 62,9 | 45,0 | 41,3 | 31,4 | 36,5 | 25,8 | 34,2 | 42,5 | 63,3  |

|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1991  | 86,9 | 109  | 201  | 101  | 82,0 | 58,0 | 45,9 | 36,4 | 36,1 | 35,2 | 66,7 | 117  | 81,3 |
| 1992  | 155  | 309  | 173  | 138  | 106  | 73,4 | 56,1 | 45,8 | 36,1 | 61,0 | 175  | 158  | 124  |
| 1993  | 144  | 202  | 124  | 108  | 69,7 | 58,1 | 44,4 | 38,1 | 29,4 | 30,7 | 29,2 | 108  | 82,1 |
| 1994  | 143  | 84,5 | 188  | 113  | 70,8 | 54,5 | 45,1 | 33,7 | 24,1 | 20,1 | 54,4 | 107  | 78,2 |
| 1995  | 94,7 | 145  | 103  | 84,8 | 68,5 | 47,7 | 36,5 | 26,1 |      |      |      |      |      |
| 1996  | 70,9 | 46,5 | 86,7 | 50,8 | 38,4 | 27,4 | 18,9 |      |      |      | 38,5 | 60,5 |      |
| 1997  | 112  | 78,6 | 112  | 134  | 89,2 | 58,4 | 41,3 | 29,8 | 24,0 |      |      |      |      |
| 1998  | 57,5 | 73,2 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1999  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 2000  | 96,1 | 112  | 150  | 75,8 | 46,1 | 32,9 | 25,9 | 18,4 | 27,7 | 14,2 | 47,5 | 99,9 | 62,1 |
| 2001  | 68,5 | 40,3 | 64,4 | 40,7 | 25,6 | 19,1 | 11,9 | 7,73 | 9,75 | 17,7 | 44,2 | 71,8 | 35,1 |
| 2002  | 114  | 120  | 96,4 | 66,7 | 36,4 | 26,8 | 21,5 | 13,2 | 13,7 | 7,27 | 18,7 | 38,3 | 47,7 |
| 2003  | 150  | 98,2 | 108  | 93,9 | 49,1 | 35,2 | 24,3 | 17,4 | 14,6 | 15,4 | 29,3 | 52,0 | 57,3 |
| 2004  | 108  | 249  | 190  | 170  | 84,4 | 53,8 | 43,2 | 33,6 | 25,0 | 25,0 | 38,8 | 67,6 | 90,7 |
| 2005  | 113  | 154  | 206  | 98,2 | 65,6 | 44,7 | 36,4 | 26,1 |      |      | 48,0 | 256  |      |
| 2006  | 130  | 116  | 183  | 196  | 92,2 | 55,8 | 45,9 | 32,1 | 32,7 | 82,8 | 121  | 173  | 105  |
| 2007  | 198  | 299  | 118  | 72,0 | 53,5 | 42,1 | 34,4 |      |      |      |      |      |      |
| Média | 128  | 129  | 126  | 101  | 63,6 | 47,0 | 36,2 | 28,4 | 24,7 | 30,1 | 57,2 | 99,6 | 75,4 |

## A.12 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “L”

Série: L (Consistido, Média Diária, 04/1972 - 12/2007)

Médias Mensais

=====

| Ano  | Jan  | Fev  | Mar | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média |
|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1972 |      |      |     |      | 104  | 77,3 | 61,9 | 46,1 | 35,6 | 59,3 | 161  | 198  |       |
| 1973 | 197  | 207  | 201 |      | 123  | 91,1 | 74,7 | 55,3 | 42,4 | 91,1 | 199  | 188  |       |
| 1974 |      | 131  |     |      | 181  | 129  | 101  | 81,2 | 58,6 | 70,4 | 67,5 | 95,7 |       |
| 1975 | 173  | 219  | 111 | 146  | 104  | 74,8 | 61,1 | 44,2 | 31,7 | 40,3 | 89,4 | 101  | 99,6  |
| 1976 | 99,6 | 118  | 173 | 119  | 82,8 | 60,4 | 45,0 | 32,6 | 39,1 | 49,8 | 132  | 301  | 104   |
| 1977 | 271  | 219  | 118 | 140  | 95,7 | 76,4 | 56,5 | 42,3 | 35,8 | 41,0 | 56,1 | 130  | 107   |
| 1978 | 248  | 178  | 307 | 194  | 132  | 110  | 84,0 | 63,9 | 52,1 | 60,0 | 73,4 | 190  | 141   |
| 1979 | 437  | 541  | 304 | 254  | 156  | 128  | 102  | 82,2 | 77,2 | 66,2 | 105  | 129  | 198   |
| 1980 | 437  | 483  | 227 | 250  | 170  | 132  | 108  | 82,7 | 71,3 | 65,2 | 108  | 202  | 195   |
| 1981 | 396  | 204  | 189 | 204  | 146  | 120  | 93,9 | 72,4 | 52,4 | 85,4 | 240  | 290  | 174   |
| 1982 | 410  | 281  | 497 | 313  | 197  | 154  | 119  | 95,5 | 77,1 | 77,4 | 76,9 | 94,8 | 199   |
| 1983 | 352  | 473  | 364 | 301  | 192  | 150  | 119  | 91,7 | 81,3 | 101  | 165  | 367  | 230   |
| 1984 | 263  | 172  | 162 | 271  | 133  | 98,6 | 78,1 | 65,9 | 69,6 | 51,9 | 52,4 | 147  | 130   |
| 1985 | 315  | 202  | 230 | 173  | 124  | 92,2 | 76,1 | 61,1 | 51,2 | 51,3 | 63,8 | 131  | 131   |
| 1986 | 270  | 207  | 154 | 99,6 | 80,9 | 61,7 | 53,2 | 52,9 | 39,3 | 33,8 | 39,2 | 88,2 | 98,2  |
| 1987 | 148  | 123  | 123 | 132  | 93,5 | 67,1 | 49,9 | 36,9 | 31,3 | 34,2 | 77,6 | 305  | 102   |
| 1988 | 223  | 238  | 276 | 201  | 134  | 103  | 78,8 | 61,4 | 46,4 | 54,7 | 127  | 196  | 145   |
| 1989 | 214  | 201  | 193 | 119  | 83,9 | 68,3 | 55,9 | 47,8 | 43,6 | 51,4 | 134  | 529  | 145   |
| 1990 | 379  | 192  | 178 | 142  | 128  | 93,9 | 84,6 | 65,1 | 63,2 | 53,6 | 60,4 | 78,2 | 127   |
| 1991 | 159  | 192  | 412 | 296  | 159  | 116  | 91,1 | 71,9 | 66,3 | 70,8 | 97,9 | 197  | 161   |
| 1992 | 277  | 581  | 320 | 257  | 207  | 144  | 117  | 97,7 | 95,9 | 121  | 325  | 358  | 242   |
| 1993 | 278  | 329  | 247 | 224  | 146  | 122  | 92,1 | 79,7 | 60,7 | 66,1 | 66,2 | 240  | 163   |
| 1994 | 312  | 189  | 359 | 221  | 145  | 114  | 92,8 | 71,2 | 51,6 | 46,5 | 111  | 227  | 162   |
| 1995 | 195  | 344  | 193 | 180  | 148  | 103  | 80,4 | 60,9 | 45,5 | 44,9 | 77,7 | 118  | 133   |
| 1996 | 148  | 97,3 | 166 | 108  | 78,9 | 61,2 | 45,3 | 36,6 | 28,9 | 27,8 | 71,3 | 122  | 82,7  |
| 1997 | 236  | 155  | 215 | 235  |      | 117  |      | 62,2 | 51,6 | 48,0 | 47,6 | 128  |       |

|       |     |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-----|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1998  | 123 | 159  | 129 | 90,4 | 72,8 | 52,3 | 37,5 | 28,0 |      |      | 57,6 | 130  |      |
| 1999  | 116 | 87,4 | 224 | 97,5 | 69,4 | 49,2 | 37,0 |      | 24,0 | 26,4 | 66,1 | 120  |      |
| 2000  | 180 | 229  | 297 | 163  | 102  | 74,7 | 61,0 | 47,8 | 62,2 | 37,4 | 90,3 | 188  | 128  |
| 2001  | 139 | 86,6 | 121 | 92,0 | 59,8 | 47,1 | 33,5 | 25,3 | 25,7 | 37,6 | 82,4 | 135  | 73,8 |
| 2002  | 203 | 236  | 190 | 137  | 83,5 | 65,1 | 50,4 | 37,3 | 36,2 | 23,1 | 42,4 | 90,3 | 99,6 |
| 2003  | 274 | 207  | 221 | 207  | 121  | 87,6 | 65,0 | 52,4 | 46,4 | 41,7 | 64,9 | 113  | 125  |
| 2004  | 225 | 470  | 373 | 345  | 190  | 125  | 95,4 | 70,6 | 51,6 | 41,8 | 67,2 | 148  | 184  |
| 2005  | 262 | 280  | 398 | 198  | 136  | 98,5 | 78,5 | 63,2 | 49,2 | 34,9 | 76,8 | 475  | 179  |
| 2006  | 292 | 212  | 316 | 302  | 167  | 113  | 92,0 | 71,6 | 71,9 |      | 170  | 379  |      |
| 2007  | 451 |      | 256 | 169  | 123  | 98,4 | 78,6 | 62,8 | 46,8 | 36,5 | 54,1 |      |      |
| Média | 256 | 242  | 242 | 193  | 128  | 96,6 | 75,7 | 60,6 | 51,8 | 54,2 | 99,9 | 198  | 145  |

### A.13 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “M”

Série: M (Consistido, Média Diária, 06/1969 - 12/2007)

Médias Mensais

=====

| Ano  | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1969 |      |      |      |      |      |      | 50,8 | 40,7 | 28,6 | 44,3 | 217  | 258  |       |
| 1970 |      | 384  | 320  | 211  | 127  | 100  | 78,9 | 63,5 | 55,0 | 77,2 | 118  | 104  |       |
| 1971 | 73,7 | 70,3 | 88,6 | 90,0 | 62,5 | 52,8 | 36,7 | 29,5 | 31,6 | 75,8 | 171  | 381  | 96,9  |
| 1972 | 202  | 198  | 218  | 213  | 133  | 98,3 | 80,2 | 58,7 | 47,6 | 84,4 | 212  | 270  | 151   |
| 1973 | 266  | 283  | 268  | 321  | 161  | 118  | 98,6 | 72,6 | 55,9 | 110  | 255  | 253  | 189   |
| 1974 | 240  | 171  | 472  | 406  | 238  | 164  | 127  | 103  | 74,0 | 98,3 | 90,4 | 133  | 193   |
| 1975 | 235  | 267  | 140  | 178  | 125  | 90,3 | 75,3 | 54,1 | 37,7 | 51,3 | 122  | 143  | 127   |
| 1976 | 134  | 144  | 215  | 148  | 101  | 75,7 | 56,3 | 45,5 | 57,0 | 66,5 | 175  | 453  | 139   |
| 1977 | 403  | 296  | 156  | 191  | 128  | 101  | 77,2 | 58,0 | 48,4 | 60,8 | 78,1 | 183  | 148   |
| 1978 | 341  | 220  | 395  | 254  | 164  | 140  | 107  | 83,4 | 64,5 | 70,5 | 107  | 245  | 183   |
| 1979 | 608  | 694  | 389  | 322  | 193  | 157  | 125  | 99,9 | 96,3 | 80,3 | 135  | 173  | 256   |
| 1980 | 566  | 643  | 301  | 335  | 222  | 167  | 140  | 107  | 92,4 | 86,0 | 158  | 279  | 258   |
| 1981 | 519  | 260  | 228  | 247  | 179  | 147  | 113  | 87,7 | 65,7 | 110  | 308  | 374  | 220   |
| 1982 | 548  | 383  | 679  | 409  | 255  | 198  | 149  | 119  | 97,3 | 102  | 102  | 131  | 264   |
| 1983 | 469  | 629  | 500  | 391  | 251  | 191  | 150  | 118  | 105  | 133  | 202  | 468  | 301   |
| 1984 | 336  | 216  | 201  | 332  | 164  | 121  | 95,1 | 80,7 | 87,6 | 64,8 | 71,5 | 193  | 164   |
| 1985 | 437  | 274  | 303  | 225  | 155  | 115  | 94,3 | 76,0 | 64,0 | 63,5 | 82,1 | 175  | 172   |
| 1986 | 368  | 288  | 209  | 129  | 106  | 80,3 | 68,4 | 67,9 | 51,6 | 45,1 | 54,9 | 119  | 132   |
| 1987 | 214  | 179  | 169  | 190  | 127  | 91,7 | 68,6 | 49,9 | 43,0 | 51,2 | 110  | 403  | 141   |
| 1988 | 297  | 331  | 368  | 265  | 169  | 132  | 101  | 79,2 | 59,0 | 73,5 | 158  | 261  | 191   |
| 1989 | 282  | 280  | 269  | 158  | 110  | 89,0 | 74,4 | 63,5 | 57,9 | 65,4 | 174  | 691  | 193   |
| 1990 | 433  | 231  | 208  | 170  | 161  | 117  | 104  | 79,3 | 79,2 | 72,1 | 75,4 | 99,1 | 152   |
| 1991 | 204  | 245  | 517  | 394  | 204  | 145  | 109  | 87,6 | 73,8 | 87,2 | 187  | 331  | 215   |
| 1992 | 358  | 712  | 403  | 323  | 260  | 181  | 147  | 123  | 114  | 146  | 393  | 452  | 301   |
| 1993 | 336  | 412  | 313  | 268  | 171  | 143  | 105  | 96,9 | 76,5 | 84,1 | 88,3 | 284  | 198   |
| 1994 | 420  | 276  | 440  | 260  | 177  | 139  | 114  | 87,1 | 64,2 | 60,2 | 143  | 300  | 207   |
| 1995 | 255  | 450  | 254  | 230  | 186  | 129  | 100  | 76,3 | 56,8 | 59,4 | 103  | 142  | 170   |
| 1996 | 184  | 125  | 205  | 134  | 97,7 | 74,1 | 53,5 | 41,5 | 31,9 | 37,1 | 112  | 153  | 104   |
| 1997 | 350  | 206  | 280  | 298  | 196  | 146  | 105  | 79,3 | 65,4 | 63,3 | 65,8 | 183  | 170   |
| 1998 | 176  | 210  | 168  | 115  | 95,1 | 70,5 | 49,4 | 37,0 | 25,7 | 33,7 | 74,5 | 181  | 103   |
| 1999 | 155  | 118  | 321  | 132  | 90,0 | 65,5 | 49,3 | 38,1 | 34,4 | 37,5 | 90,3 | 147  | 107   |
| 2000 | 223  | 307  | 407  | 212  | 130  | 95,9 | 78,5 | 60,9 | 82,7 | 50,0 | 119  | 251  | 168   |
| 2001 | 178  | 116  | 163  | 126  | 79,9 | 62,5 | 45,9 | 35,5 | 36,6 | 51,6 | 110  |      |       |

|       |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |     |     |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| 2002  | 269 | 338 | 261 | 185 | 113 | 88,5 | 67,6 | 50,8 | 47,7 | 32,9 | 56,1 | 106 | 135 |
| 2003  | 404 | 280 | 283 | 263 | 152 | 112  | 83,7 | 66,7 | 56,3 | 51,9 | 86,7 | 136 | 165 |
| 2004  | 296 | 608 | 477 | 440 | 239 | 160  | 126  | 96,7 | 66,1 | 52,5 | 84,2 | 184 | 236 |
| 2005  | 368 | 367 | 483 | 255 | 177 | 129  | 102  | 81,3 | 61,5 | 50,0 | 123  | 578 | 231 |
| 2006  | 351 | 288 | 462 | 389 |     |      |      | 92,3 | 85,9 |      | 209  |     |     |
| 2007  | 637 | 777 | 320 | 215 | 161 | 126  | 102  |      | 61,2 | 48,8 | 75,5 |     |     |
| Média | 328 | 323 | 312 | 248 | 158 | 119  | 92,3 | 73,4 | 62,6 | 69,3 | 136  | 256 | 182 |

## A.14 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “N”

Série: N (Consistido, Média Diária, 06/1974 - 09/2006)

Médias Mensais

=====

| Ano   | Jan   | Fev   | Mar  | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago  | Set  | Out  | Nov   | Dez  | Média |
|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|------|-------|
| 1974  |       |       |      |       |       |       | 9,56  | 7,93 | 5,24 | 11,6 | 6,63  | 13,0 |       |
| 1975  | 18,0  | 15,2  | 8,55 | 10,2  | 6,68  | 4,37  | 3,80  | 2,67 | 1,93 | 3,97 | 12,8  | 16,3 | 8,71  |
| 1976  | 11,3  | 14,3  | 16,9 | 10,1  | 6,62  | 4,76  | 4,73  | 2,88 | 5,56 | 6,46 | 17,9  | 54,8 | 13,0  |
| 1977  | 39,5  | 28,8  | 14,1 | 24,1  | 13,6  | 9,95  | 7,28  | 5,33 | 4,82 | 8,64 | 11,3  | 31,9 | 16,6  |
| 1978  | 47,4  | 21,1  | 30,0 | 24,9  | 13,7  | 10,8  | 8,50  | 6,23 | 5,17 | 5,64 | 16,8  | 32,9 | 18,6  |
| 1979  | 62,7  | 83,5  | 31,5 | 30,6  | 16,5  | 13,4  | 10,2  | 8,42 | 9,99 | 6,11 | 17,5  | 22,6 | 26,1  |
| 1980  | 64,4  | 66,3  | 23,5 | 30,5  | 17,7  | 13,8  | 10,5  | 7,89 | 6,44 | 6,03 | 18,9  | 26,3 | 24,4  |
| 1981  | 54,2  | 20,8  | 20,5 | 16,3  | 12,4  | 10,5  | 7,67  | 6,29 | 4,82 | 10,1 | 33,8  | 32,2 | 19,1  |
| 1982  | 40,5  | 28,6  | 61,2 | 28,2  | 18,7  | 13,8  | 10,7  | 8,36 | 6,56 | 11,0 | 12,0  | 15,8 | 21,3  |
| 1983  | 50,6  | 54,8  | 38,7 | 33,1  | 19,8  | 14,3  | 12,3  | 8,69 | 8,34 | 13,6 | 15,3  | 41,2 | 25,9  |
| 1984  | 25,1  | 14,4  | 16,1 | 20,3  | 10,7  | 7,52  | 5,73  | 5,22 | 6,67 | 4,52 | 7,90  | 17,7 | 11,8  |
| 1985  | 45,0  | 25,9  | 29,6 | 16,6  | 11,3  | 8,23  | 6,75  | 5,24 | 4,98 | 4,56 | 8,57  | 21,1 | 15,7  |
| 1986  | 50,5  | 32,8  | 22,7 | 14,1  | 11,0  | 8,06  | 6,68  | 7,33 | 4,97 | 4,43 | 5,77  | 14,0 | 15,2  |
| 1987  | 22,8  | 15,4  | 14,7 | 17,7  | 10,3  | 7,51  | 5,51  | 4,28 | 4,05 | 7,07 | 12,5  | 36,0 | 13,2  |
| 1988  | 22,8  | 36,7  | 37,1 | 22,2  | 11,7  | 10,2  | 7,09  | 5,43 | 3,88 | 7,89 | 10,5  | 26,2 | 16,8  |
| 1989  | 25,8  | 24,8  | 20,5 | 11,1  | 7,75  | 6,90  | 5,39  | 5,01 | 4,37 | 4,53 | 17,8  | 53,3 | 15,6  |
| 1990  | 46,6* | 22,8* | 24,8 | 16,0* | 14,3* | 10,5  | 10,4  | 6,46 | 6,82 | 5,61 | 14,9  | 23,5 | 16,9* |
| 1991  | 17,6* | 24,8  | 20,6 | 11,1  | 7,75  | 6,90  | 5,39  | 5,01 | 4,37 | 4,64 | 14,7  | 23,5 | 12,2* |
| 1992  | 47,3  | 57,7  | 26,6 | 23,1  | 15,0  | 10,4  | 8,40  | 6,75 | 7,15 | 10,1 | 25,0  | 52,0 | 24,1  |
| 1993  | 18,1  | 26,9  | 15,5 | 15,8  | 9,75  | 8,76  | 5,88  | 5,96 | 4,68 | 5,07 | 7,39  | 22,9 | 12,2  |
| 1994  | 32,4  | 14,0  | 35,9 | 15,3  | 10,5  | 7,88  | 6,65  | 5,05 | 3,40 | 3,78 | 15,9  | 25,7 | 14,7  |
| 1995  | 24,3  | 40,8  | 19,5 | 14,5  | 16,4  | 8,61* | 7,27  | 6,81 | 6,04 | 5,27 | 11,0  | 16,8 | 14,8* |
| 1996  | 20,1  | 10,1  | 15,5 | 9,68  | 6,26  | 4,58  | 3,65  | 3,41 | 3,10 | 3,40 | 14,5  | 21,1 | 9,61  |
| 1997  | 37,4  | 19,5  | 26,7 | 20,3  | 12,7  | 10,8  | 7,22  | 5,70 | 4,61 | 4,85 | 6,84  | 22,8 | 14,9  |
| 1998  | 18,1  | 19,9  | 13,2 | 9,36  | 8,93  | 6,35  | 4,11  | 3,24 | 2,35 | 3,08 | 6,65  | 19,0 | 9,52  |
| 1999  | 19,7? | 12,1  | 37,3 | 12,5  | 8,10  | 6,00  | 4,58* | 3,17 | 2,97 | 3,30 | 6,25? | 9,99 | 10,5? |
| 2000  |       | 21,7* | 29,2 | 15,5  | 8,45  | 6,56  | 5,74  | 4,33 | 6,87 | 3,73 | 12,2  | 29,8 |       |
| 2001  | 16,5  | 10,5  | 13,7 | 10,8  | 6,84  | 5,37  | 4,02  | 3,03 | 3,40 | 5,89 | 10,4  | 11,5 | 8,50  |
| 2002  | 21,3  | 30,7  | 18,1 | 13,9  | 9,00  | 7,00  | 5,80  | 4,71 | 4,75 | 5,06 | 4,48  | 15,0 | 11,6  |
| 2003  | 33,4  | 27,3  | 21,2 | 19,0  | 11,1  | 8,10  | 6,51  | 5,38 | 4,36 | 4,43 | 10,8  | 17,5 | 14,1  |
| 2004  | 27,6  | 27,0  | 30,3 | 26,7  | 18,1  | 13,0  | 10,6  | 7,89 | 5,78 | 4,93 | 6,11  | 28,8 | 17,2  |
| 2005  | 65,5  | 31,9  | 58,8 | 20,5  | 17,3  | 10,8  | 8,02  | 6,44 | 5,42 | 3,76 | 18,9  | 52,0 | 25,0  |
| 2006  | 26,8  | 21,2  | 30,3 | 29,1  | 18,2  | 11,6  | 9,01  | 6,92 | 6,48 |      |       |      |       |
| Média | 34,0  | 28,2  | 25,7 | 18,5  | 12,1  | 8,98  | 7,14  | 5,68 | 5,16 | 6,03 | 12,9  | 26,5 | 15,9  |

## APÊNDICE B – PREENCHIMENTO DE FALHAS

Neste apêndice estão listados os dados de vazões média, máxima e mínima mensais da estação fluviométrica “C”, já com todas as falhas preenchidas.

### B.1 Vazões Médias Mensais – Estação Fluviométrica “C”

Série: C (Consistido, Média Diária, 07/1973 - 05/2010)

Médias Mensais

=====

| Ano  | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez  | Média |
|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 1973 |      |      |      |      |       |       | 1,07  | 4,18  | 4,44  | 4,91  | 7,63  | 7,50 |       |
| 1974 | 8,40 | 5,80 | 16,4 | 5,86 | 3,24  | 2,29  | 1,80  | 1,43  | 1,07  | 1,44  | 1,09  | 1,34 | 4,17  |
| 1975 | 2,55 | 5,58 | 2,02 | 2,28 | 1,67  | 1,30  | 1,03  | 0,681 | 0,474 | 0,595 | 3,22  | 3,07 | 2,04  |
| 1976 | 1,90 | 3,68 | 3,41 | 1,91 | 1,33  | 0,905 | 0,715 | 0,515 | 1,31  | 1,35  | 4,02  | 7,26 | 2,36  |
| 1977 | 5,06 | 3,74 | 2,03 | 2,50 | 1,75  | 1,41  | 1,03  | 0,783 | 0,763 | 1,62  | 0,888 | 2,13 | 1,98  |
| 1978 | 4,99 | 4,17 | 7,58 | 3,11 | 2,29  | 1,87  | 1,42  | 1,03  | 0,819 | 0,853 | 0,947 | 4,64 | 2,81  |
| 1979 | 18,8 | 16,1 | 9,07 | 5,66 | 4,10  | 3,26  | 2,70  | 2,25  | 1,88  | 1,81  | 1,97  | 4,44 | 6,00  |
| 1980 | 19,9 | 18,9 | 7,28 | 7,00 | 4,42  | 3,36  | 2,77  | 2,25  | 2,02  | 1,83  | 3,00  | 5,68 | 6,53  |
| 1981 | 9,59 | 5,78 | 4,69 | 4,77 | 3,12  | 2,61  | 2,18  | 1,88  | 1,54  | 4,43  | 6,21  | 9,22 | 4,67  |
| 1982 | 11,0 | 6,69 | 15,7 | 7,97 | 5,72  | 4,16  | 3,44  | 2,81  | 2,50  | 2,52  | 2,98  | 3,05 | 5,71  |
| 1983 | 14,9 | 12,6 | 7,33 | 10,6 | 6,28  | 4,37  | 3,62  | 2,99  | 2,70  | 3,22  | 6,24  | 10,7 | 7,13  |
| 1984 | 5,93 | 4,79 | 3,95 | 5,08 | 3,14  | 2,51  | 2,16  | 1,90  | 1,68  | 1,40  | 1,76  | 3,99 | 3,19  |
| 1985 | 10,4 | 6,96 | 4,03 | 3,14 | 2,67  | 2,31  | 1,95  | 1,67  | 1,47  | 1,43  | 1,78  | 2,03 | 3,32  |
| 1986 | 7,69 | 8,61 | 3,80 | 2,60 | 2,15  | 1,72  | 1,43  | 1,21  | 1,08  | 0,853 | 1,13  | 3,06 | 2,94  |
| 1987 | 3,28 | 2,33 | 1,88 | 2,09 | 1,13  | 0,992 | 0,762 | 0,564 | 1,10  | 0,520 | 1,44  | 5,96 | 1,84  |
| 1988 | 3,51 | 2,66 | 2,65 | 2,45 | 1,74  | 1,31  | 0,897 | 0,665 | 0,523 | 1,45  | 2,14  | 3,30 | 1,94  |
| 1989 | 3,15 | 8,40 | 3,76 | 1,65 | 1,18  | 0,954 | 0,822 | 0,672 | 0,569 | 1,32  | 2,30  | 13,4 | 3,18  |
| 1990 | 7,30 | 3,46 | 3,17 | 2,18 | 1,76  | 1,61  | 1,70  | 1,24  | 1,23  | 1,22  | 1,86  | 5,45 | 2,68  |
| 1991 | 5,42 | 5,25 | 10,9 | 6,46 | 2,94  | 2,19  | 1,83  | 1,53  | 1,24  | 1,46  | 2,61  | 8,27 | 4,18  |
| 1992 | 10,2 | 19,2 | 7,66 | 4,10 | 3,73  | 2,93  | 2,33  | 2,01  | 2,00  | 2,40  | 8,34  | 15,7 | 6,71  |
| 1993 | 8,03 | 11,3 | 5,24 | 3,18 | 2,59  | 2,07  | 1,75  | 1,56  | 1,23  | 1,13  | 0,896 | 12,5 | 4,29  |
| 1994 | 6,04 | 3,39 | 3,32 | 3,25 | 2,34  | 1,99  | 1,66  | 1,31  | 1,01  | 1,12  | 2,38  | 3,75 | 2,63  |
| 1995 | 2,61 | 7,79 | 2,83 | 2,51 | 2,34  | 1,46  | 1,15  | 0,823 | 0,557 | 0,449 | 0,817 | 2,01 | 2,11  |
| 1996 | 3,26 | 2,28 | 1,81 | 1,45 | 1,06  | 0,898 | 0,715 | 0,573 | 0,502 | 0,437 | 1,12  | 1,89 | 1,33  |
| 1997 | 4,97 | 2,28 | 9,02 | 5,44 | 2,25  | 1,69  | 1,41  | 1,11  | 0,829 | 0,797 | 0,884 | 8,85 | 3,29  |
| 1998 | 3,94 | 2,95 | 1,84 | 1,39 | 1,27  | 1,08  | 0,873 | 0,739 | 0,521 | 0,729 | 2,29  | 3,34 | 1,75  |
| 1999 | 2,96 | 2,36 | 6,19 | 1,68 | 1,21  | 0,923 | 0,729 | 0,578 | 0,467 | 0,575 | 1,47  | 4,58 | 1,98  |
| 2000 | 5,39 | 7,37 | 6,96 | 3,60 | 2,23  | 1,77  | 1,32  | 1,07  | 0,987 | 0,650 | 1,56  | 3,88 | 3,07  |
| 2001 | 2,28 | 1,46 | 1,72 | 1,09 | 0,789 | 0,630 | 0,517 | 0,492 | 0,606 | 0,599 | 1,58  | 2,08 | 1,15  |
| 2002 | 3,14 | 3,26 | 2,75 | 1,70 | 1,05  | 0,767 | 0,656 | 0,509 | 0,454 | 0,370 | 0,809 | 2,69 | 1,51  |
| 2003 | 13,2 | 4,66 | 5,24 | 5,48 | 2,33  | 1,48  | 1,16  | 0,895 | 0,822 | 0,701 | 0,835 | 1,25 | 3,17  |
| 2004 | 4,62 | 11,3 | 8,37 | 6,14 | 3,04  | 1,90  | 1,50  | 1,13  | 0,841 | 1,67  | 1,16  | 4,12 | 3,82  |
| 2005 | 7,60 | 11,2 | 12,3 | 5,48 | 3,52  | 2,04  | 1,59  | 1,37  | 1,17  | 0,994 | 2,59  | 13,3 | 5,27  |
| 2006 | 6,05 | 5,18 | 7,41 | 6,04 | 3,76  | 2,54  | 1,98  | 1,62  | 1,37  | 1,83  | 2,69  | 9,17 | 4,14  |
| 2007 | 13,8 | 18,5 | 5,99 | 4,32 | 3,17  | 2,28  | 1,88  | 1,52  | 1,26  | 1,07  | 1,30  | 1,60 | 4,72  |
| 2008 | 1,96 | 5,28 | 7,11 | 3,91 | 3,26  | 2,23  | 1,77  | 1,54  | 1,35  | 0,820 | 1,11  | 1,83 | 2,68  |
| 2009 | 4,35 | 6,34 | 3,01 | 4,92 | 2,29  | 1,52  | 1,11  | 0,909 | 0,992 | 1,08  | 1,09  | 4,90 | 2,71  |

|       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 2010  | 4,00 | 2,15 | 2,97 | 5,58 | 2,08 |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Média | 6,81 | 6,86 | 5,71 | 4,02 | 2,57 | 1,93 | 1,55 | 1,35 | 1,23 | 1,40 | 2,33 | 5,46 | 3,42 |

## B.2 Vazões Máximas Mensais – Estação Fluviométrica “C”

Série: C (Consistido, Média Diária, 07/1973 - 05/2010)

Máximas Mensais

=====

| Ano   | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov  | Dez  | Máxima |
|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| 1973  |      |      |      |      |      |       | 1,59  | 4,40  | 5,71  | 11,3  | 17,0 | 12,8 |        |
| 1974  | 27,6 | 8,90 | 31,8 | 9,62 | 4,25 | 2,69  | 1,95  | 1,64  | 1,26  | 5,71  | 1,44 | 4,25 | 31,8   |
| 1975  | 12,5 | 37,0 | 2,49 | 4,25 | 2,62 | 1,51  | 1,19  | 0,900 | 0,900 | 1,89  | 19,9 | 22,5 | 37,0   |
| 1976  | 2,82 | 20,5 | 9,11 | 2,69 | 1,57 | 1,13  | 0,900 | 0,680 | 17,2  | 3,58  | 11,2 | 18,0 | 20,5   |
| 1977  | 9,31 | 7,34 | 4,72 | 6,33 | 2,07 | 1,67  | 1,19  | 0,900 | 1,19  | 22,0  | 2,19 | 7,24 | 22,0   |
| 1978  | 13,1 | 13,9 | 19,5 | 4,25 | 4,40 | 2,19  | 1,64  | 1,19  | 0,957 | 1,38  | 2,19 | 25,0 | 25,0   |
| 1979  | 57,7 | 26,7 | 18,1 | 7,72 | 4,64 | 3,80  | 2,95  | 2,43  | 2,07  | 3,43  | 3,43 | 32,9 | 57,7   |
| 1980  | 50,1 | 29,7 | 11,9 | 17,7 | 5,54 | 4,17  | 2,95  | 2,49  | 2,56  | 3,09  | 8,90 | 12,5 | 50,1   |
| 1981  | 27,1 | 7,06 | 10,3 | 6,96 | 3,65 | 4,02  | 2,43  | 2,19  | 1,67  | 49,5  | 10,9 | 14,6 | 49,5   |
| 1982  | 21,9 | 10,8 | 55,2 | 11,7 | 10,8 | 4,64  | 3,80  | 3,09  | 2,62  | 3,50  | 10,3 | 8,70 | 55,2   |
| 1983  | 46,0 | 26,3 | 14,7 | 26,6 | 8,80 | 5,04  | 3,94  | 3,22  | 3,02  | 7,58  | 31,5 | 27,5 | 46,0   |
| 1984  | 12,4 | 5,89 | 4,56 | 9,21 | 3,72 | 2,75  | 2,31  | 2,25  | 1,89  | 1,84  | 14,0 | 10,0 | 14,0   |
| 1985  | 54,2 | 22,0 | 5,46 | 3,50 | 3,22 | 2,75  | 2,13  | 1,73  | 1,64  | 3,43  | 4,10 | 4,40 | 54,2   |
| 1986  | 27,1 | 25,5 | 8,21 | 3,02 | 2,49 | 1,95  | 1,64  | 1,32  | 1,26  | 1,02  | 3,15 | 27,1 | 27,1   |
| 1987  | 22,0 | 2,95 | 2,31 | 7,24 | 1,51 | 1,02  | 0,900 | 0,680 | 6,33  | 1,02  | 3,65 | 21,0 | 22,0   |
| 1988  | 9,42 | 5,46 | 3,87 | 5,04 | 2,31 | 1,73  | 1,13  | 0,734 | 0,576 | 5,54  | 6,33 | 11,3 | 11,3   |
| 1989  | 8,70 | 22,3 | 19,5 | 1,84 | 1,38 | 1,02  | 1,02  | 0,900 | 1,02  | 3,15  | 24,0 | 53,0 | 53,0   |
| 1990  | 23,5 | 7,06 | 3,80 | 2,82 | 2,19 | 1,73  | 2,31  | 1,51  | 2,19  | 3,72  | 19,0 | 35,1 | 35,1   |
| 1991  | 15,5 | 16,1 | 30,1 | 21,0 | 3,50 | 2,31  | 1,95  | 1,73  | 1,38  | 2,82  | 7,24 | 22,0 | 30,1   |
| 1992  | 43,1 | 48,0 | 12,7 | 5,71 | 5,71 | 3,09  | 2,82  | 2,19  | 2,25  | 5,89  | 22,0 | 37,2 | 48,0   |
| 1993  | 13,5 | 19,2 | 8,80 | 4,25 | 2,88 | 2,19  | 1,84  | 1,73  | 1,38  | 1,26  | 1,13 | 49,0 | 49,0   |
| 1994  | 7,91 | 4,25 | 5,97 | 3,65 | 2,56 | 2,19  | 1,73  | 1,51  | 1,13  | 1,26  | 16,0 | 13,1 | 16,0   |
| 1995  | 11,3 | 28,7 | 3,50 | 2,95 | 2,69 | 1,64  | 1,64  | 0,900 | 0,680 | 0,476 | 1,67 | 5,04 | 28,7   |
| 1996  | 7,78 | 10,9 | 3,63 | 3,12 | 1,32 | 0,955 | 0,848 | 0,652 | 0,563 | 0,481 | 4,41 | 7,86 | 10,9   |
| 1997  | 15,1 | 3,74 | 30,8 | 15,0 | 2,79 | 1,91  | 1,64  | 1,32  | 0,957 | 1,26  | 2,19 | 40,5 | 40,5   |
| 1998  | 8,20 | 4,88 | 2,33 | 2,12 | 1,38 | 1,13  | 0,957 | 0,788 | 0,627 | 2,05  | 9,12 | 6,80 | 9,12   |
| 1999  | 8,66 | 14,7 | 19,0 | 2,05 | 1,32 | 1,13  | 0,788 | 0,627 | 0,476 | 1,66  | 4,88 | 29,7 | 29,7   |
| 2000  | 14,2 | 20,7 | 12,4 | 4,97 | 2,64 | 1,88  | 1,59  | 1,32  | 1,45  | 0,848 | 2,92 | 9,87 | 20,7   |
| 2001  | 4,07 | 2,29 | 2,83 | 1,45 | 1,07 | 0,747 | 0,563 | 1,38  | 2,37  | 1,07  | 5,69 | 5,85 | 5,85   |
| 2002  | 11,0 | 6,10 | 9,60 | 2,61 | 1,21 | 0,863 | 0,757 | 0,608 | 0,919 | 1,41  | 3,88 | 16,5 | 16,5   |
| 2003  | 50,0 | 8,57 | 16,8 | 14,5 | 4,30 | 1,72  | 1,32  | 1,01  | 1,43  | 0,836 | 1,66 | 8,20 | 50,0   |
| 2004  | 21,6 | 36,1 | 15,8 | 10,6 | 4,00 | 2,18  | 1,66  | 1,26  | 0,923 | 25,4  | 1,54 | 10,8 | 36,1   |
| 2005  | 16,1 | 60,8 | 25,5 | 7,55 | 5,17 | 2,26  | 1,85  | 1,54  | 1,32  | 1,21  | 24,3 | 43,3 | 60,8   |
| 2006  | 8,47 | 12,9 | 19,8 | 8,75 | 4,59 | 3,00  | 2,18  | 1,91  | 2,26  | 5,46  | 5,75 | 31,1 | 31,1   |
| 2007  | 22,2 | 54,2 | 7,55 | 6,04 | 3,60 | 2,69  | 2,05  | 1,72  | 1,32  | 1,16  | 1,85 | 3,00 | 54,2   |
| 2008  | 6,32 | 21,8 | 18,3 | 11,1 | 4,00 | 2,69  | 1,91  | 1,66  | 1,78  | 1,16  | 3,20 | 5,27 | 21,8   |
| 2009  | 13,4 | 26,4 | 4,98 | 15,2 | 3,00 | 1,75  | 1,40  | 2,14  | 2,14  | 2,14  | 3,10 | 24,8 | 26,4   |
| 2010  | 6,98 | 3,30 | 6,51 | 28,8 | 2,79 |       |       |       |       |       |      |      |        |
| Média | 19,7 | 18,5 | 13,0 | 8,15 | 3,40 | 2,22  | 1,77  | 1,57  | 2,15  | 5,15  | 8,53 | 19,4 | 33,2   |

### B.3 Vazões Mínimas Mensais – Estação Fluviométrica “C”

Série: C (Consistido, Média Diária, 07/1973 - 05/2010)

Mínimas Mensais

=====

| Ano   | Jan  | Fev   | Mar  | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez   | Mínima |
|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1973  |      |       |      |       |       |       | 0,921 | 3,94  | 4,10  | 4,25  | 4,40  | 5,54  |        |
| 1974  | 5,71 | 5,04  | 5,04 | 4,33  | 2,69  | 2,01  | 1,64  | 1,26  | 0,957 | 0,900 | 0,844 | 0,788 | 0,788  |
| 1975  | 1,26 | 1,51  | 1,73 | 1,78  | 1,51  | 1,13  | 0,900 | 0,526 | 0,382 | 0,382 | 0,526 | 1,51  | 0,382  |
| 1976  | 1,26 | 1,73  | 2,31 | 1,57  | 1,07  | 0,680 | 0,576 | 0,428 | 0,382 | 0,680 | 1,38  | 3,22  | 0,382  |
| 1977  | 3,15 | 2,43  | 1,64 | 1,51  | 1,64  | 1,26  | 0,900 | 0,734 | 0,576 | 0,576 | 0,476 | 0,900 | 0,476  |
| 1978  | 2,07 | 2,07  | 3,50 | 2,37  | 1,95  | 1,64  | 1,26  | 0,900 | 0,680 | 0,627 | 0,627 | 0,957 | 0,627  |
| 1979  | 2,82 | 16,7  | 6,60 | 4,72  | 3,72  | 2,95  | 2,43  | 2,07  | 1,67  | 1,51  | 1,64  | 1,64  | 1,51   |
| 1980  | 5,29 | 12,8  | 4,64 | 4,56  | 3,50  | 3,02  | 2,49  | 2,01  | 1,84  | 1,64  | 1,64  | 2,82  | 1,64   |
| 1981  | 5,97 | 4,25  | 3,58 | 3,58  | 2,82  | 2,31  | 1,95  | 1,73  | 1,38  | 1,57  | 4,02  | 5,04  | 1,38   |
| 1982  | 7,34 | 4,88  | 5,38 | 5,04  | 4,64  | 3,50  | 3,09  | 2,62  | 2,43  | 2,31  | 2,13  | 2,13  | 2,13   |
| 1983  | 3,36 | 6,76  | 5,11 | 7,72  | 5,04  | 3,94  | 3,36  | 2,75  | 2,49  | 1,59  | 2,56  | 5,13  | 1,59   |
| 1984  | 3,99 | 4,02  | 3,80 | 3,72  | 2,82  | 2,31  | 2,07  | 1,73  | 1,51  | 1,19  | 1,02  | 1,67  | 1,02   |
| 1985  | 1,95 | 4,40  | 3,15 | 2,82  | 2,43  | 2,13  | 1,84  | 1,51  | 1,26  | 1,26  | 1,13  | 1,26  | 1,13   |
| 1986  | 3,22 | 3,94  | 3,02 | 2,31  | 1,95  | 1,64  | 1,32  | 1,07  | 1,02  | 0,680 | 0,627 | 1,02  | 0,627  |
| 1987  | 1,95 | 1,64  | 1,64 | 1,51  | 0,957 | 0,900 | 0,680 | 0,476 | 0,428 | 0,382 | 0,576 | 1,84  | 0,382  |
| 1988  | 1,84 | 1,84  | 2,19 | 1,84  | 1,57  | 1,13  | 0,680 | 0,576 | 0,476 | 0,476 | 0,680 | 1,02  | 0,476  |
| 1989  | 1,64 | 1,64  | 1,64 | 1,38  | 1,02  | 0,900 | 0,680 | 0,476 | 0,476 | 0,476 | 0,576 | 1,51  | 0,476  |
| 1990  | 3,22 | 2,95  | 2,37 | 1,84  | 1,26  | 1,51  | 1,26  | 1,02  | 1,02  | 0,957 | 1,02  | 1,02  | 0,957  |
| 1991  | 2,19 | 2,82  | 4,56 | 3,15  | 2,43  | 1,95  | 1,73  | 1,26  | 1,07  | 1,02  | 1,02  | 2,19  | 1,02   |
| 1992  | 2,13 | 7,31  | 5,21 | 3,15  | 3,09  | 2,82  | 2,07  | 1,84  | 1,84  | 1,84  | 3,50  | 7,43  | 1,84   |
| 1993  | 5,97 | 6,87  | 3,50 | 2,95  | 2,19  | 1,84  | 1,64  | 1,38  | 1,13  | 1,02  | 0,788 | 0,788 | 0,788  |
| 1994  | 3,72 | 2,82  | 1,84 | 2,56  | 2,07  | 1,84  | 1,51  | 1,13  | 0,900 | 0,900 | 0,788 | 2,07  | 0,788  |
| 1995  | 1,73 | 2,19  | 2,56 | 2,19  | 1,95  | 1,26  | 0,900 | 0,734 | 0,476 | 0,382 | 0,476 | 0,576 | 0,382  |
| 1996  | 1,59 | 1,19  | 1,32 | 1,07  | 0,955 | 0,848 | 0,652 | 0,443 | 0,443 | 0,370 | 0,563 | 0,698 | 0,370  |
| 1997  | 1,52 | 1,59  | 4,20 | 3,10  | 1,84  | 1,32  | 1,32  | 1,02  | 0,734 | 0,627 | 0,627 | 2,33  | 0,627  |
| 1998  | 2,59 | 2,33  | 1,57 | 1,13  | 1,13  | 0,957 | 0,788 | 0,627 | 0,476 | 0,476 | 0,680 | 1,78  | 0,476  |
| 1999  | 1,32 | 0,957 | 2,19 | 1,32  | 1,13  | 0,788 | 0,680 | 0,526 | 0,428 | 0,293 | 0,638 | 0,923 | 0,293  |
| 2000  | 2,73 | 4,18  | 5,05 | 2,55  | 1,88  | 1,59  | 1,19  | 0,901 | 0,747 | 0,481 | 0,747 | 1,59  | 0,481  |
| 2001  | 1,52 | 1,32  | 1,32 | 0,796 | 0,747 | 0,522 | 0,481 | 0,406 | 0,370 | 0,406 | 0,443 | 0,652 | 0,370  |
| 2002  | 1,45 | 1,68  | 1,75 | 1,21  | 0,863 | 0,656 | 0,561 | 0,389 | 0,313 | 0,243 | 0,472 | 0,389 | 0,243  |
| 2003  | 3,13 | 3,10  | 1,91 | 2,79  | 1,78  | 1,32  | 1,01  | 0,836 | 0,676 | 0,638 | 0,638 | 0,753 | 0,638  |
| 2004  | 1,01 | 4,49  | 5,56 | 4,39  | 2,18  | 1,66  | 1,32  | 1,01  | 0,676 | 0,638 | 0,968 | 1,11  | 0,638  |
| 2005  | 4,98 | 5,46  | 6,70 | 4,59  | 2,33  | 1,85  | 1,43  | 1,26  | 1,01  | 0,836 | 1,01  | 2,26  | 0,836  |
| 2006  | 4,30 | 4,00  | 4,00 | 4,79  | 3,00  | 2,18  | 1,78  | 1,43  | 1,21  | 1,21  | 1,54  | 2,33  | 1,21   |
| 2007  | 6,32 | 8,38  | 4,59 | 3,60  | 2,69  | 2,05  | 1,72  | 1,32  | 1,16  | 1,01  | 1,01  | 1,16  | 1,01   |
| 2008  | 1,32 | 2,59  | 4,20 | 2,59  | 2,69  | 1,91  | 1,66  | 1,43  | 1,26  | 0,599 | 0,501 | 0,825 | 0,501  |
| 2009  | 1,57 | 3,00  | 2,14 | 2,79  | 1,75  | 1,40  | 0,952 | 0,707 | 0,707 | 0,707 | 0,707 | 0,825 | 0,707  |
| 2010  | 2,79 | 1,75  | 1,84 | 2,79  | 1,48  |       |       |       |       |       |       |       |        |
| Média | 2,97 | 3,96  | 3,33 | 2,87  | 2,13  | 1,71  | 1,39  | 1,20  | 1,05  | 0,950 | 1,16  | 1,88  | 0,811  |

## APÊNDICE C – DADOS HIDROLÓGICOS DA BACIA ESTUDADA

Neste apêndice estão listados os dados de vazões média, máxima e mínima mensais da bacia estudada.

### C.1 Vazões Médias Mensais – Bacia Estudada

Série: Bacia Estudada (Consistido, Média Diária, 07/1973 - 05/2010)

Médias Mensais

=====

| Ano  | Jan   | Fev   | Mar   | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez   | Média |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1973 |       |       |       |       |       |       | 0,154 | 0,604 | 0,642 | 0,710 | 1,10  | 1,08  |       |
| 1974 | 1,21  | 0,838 | 2,36  | 0,847 | 0,469 | 0,330 | 0,260 | 0,207 | 0,154 | 0,208 | 0,157 | 0,194 | 0,603 |
| 1975 | 0,368 | 0,807 | 0,292 | 0,329 | 0,242 | 0,188 | 0,149 | 0,098 | 0,069 | 0,086 | 0,466 | 0,444 | 0,295 |
| 1976 | 0,274 | 0,532 | 0,492 | 0,277 | 0,193 | 0,131 | 0,103 | 0,074 | 0,189 | 0,195 | 0,582 | 1,05  | 0,341 |
| 1977 | 0,731 | 0,540 | 0,293 | 0,361 | 0,253 | 0,204 | 0,149 | 0,113 | 0,110 | 0,234 | 0,128 | 0,309 | 0,286 |
| 1978 | 0,721 | 0,603 | 1,10  | 0,449 | 0,331 | 0,270 | 0,205 | 0,149 | 0,118 | 0,123 | 0,137 | 0,671 | 0,406 |
| 1979 | 2,72  | 2,32  | 1,31  | 0,818 | 0,593 | 0,471 | 0,390 | 0,325 | 0,272 | 0,261 | 0,284 | 0,642 | 0,867 |
| 1980 | 2,87  | 2,73  | 1,05  | 1,01  | 0,639 | 0,486 | 0,400 | 0,325 | 0,292 | 0,264 | 0,433 | 0,821 | 0,944 |
| 1981 | 1,39  | 0,835 | 0,678 | 0,690 | 0,451 | 0,378 | 0,315 | 0,272 | 0,223 | 0,641 | 0,898 | 1,33  | 0,675 |
| 1982 | 1,59  | 0,967 | 2,27  | 1,15  | 0,827 | 0,601 | 0,497 | 0,406 | 0,362 | 0,364 | 0,431 | 0,441 | 0,826 |
| 1983 | 2,15  | 1,83  | 1,06  | 1,53  | 0,908 | 0,632 | 0,524 | 0,433 | 0,390 | 0,466 | 0,902 | 1,55  | 1,03  |
| 1984 | 0,858 | 0,693 | 0,571 | 0,734 | 0,454 | 0,363 | 0,312 | 0,274 | 0,243 | 0,202 | 0,255 | 0,577 | 0,461 |
| 1985 | 1,50  | 1,01  | 0,582 | 0,454 | 0,386 | 0,335 | 0,282 | 0,241 | 0,212 | 0,207 | 0,257 | 0,293 | 0,479 |
| 1986 | 1,11  | 1,24  | 0,549 | 0,376 | 0,311 | 0,249 | 0,207 | 0,175 | 0,157 | 0,123 | 0,163 | 0,443 | 0,426 |
| 1987 | 0,474 | 0,337 | 0,272 | 0,302 | 0,164 | 0,143 | 0,110 | 0,082 | 0,160 | 0,075 | 0,209 | 0,861 | 0,266 |
| 1988 | 0,508 | 0,385 | 0,383 | 0,354 | 0,251 | 0,189 | 0,130 | 0,096 | 0,076 | 0,210 | 0,309 | 0,477 | 0,281 |
| 1989 | 0,455 | 1,21  | 0,543 | 0,239 | 0,171 | 0,138 | 0,119 | 0,097 | 0,082 | 0,191 | 0,333 | 1,94  | 0,460 |
| 1990 | 1,05  | 0,500 | 0,459 | 0,316 | 0,255 | 0,233 | 0,246 | 0,179 | 0,178 | 0,176 | 0,269 | 0,787 | 0,388 |
| 1991 | 0,784 | 0,759 | 1,58  | 0,934 | 0,424 | 0,317 | 0,264 | 0,221 | 0,179 | 0,212 | 0,377 | 1,20  | 0,604 |
| 1992 | 1,48  | 2,77  | 1,11  | 0,593 | 0,540 | 0,424 | 0,336 | 0,291 | 0,289 | 0,347 | 1,21  | 2,27  | 0,971 |
| 1993 | 1,16  | 1,63  | 0,757 | 0,459 | 0,375 | 0,300 | 0,252 | 0,226 | 0,177 | 0,164 | 0,130 | 1,81  | 0,620 |
| 1994 | 0,873 | 0,490 | 0,480 | 0,470 | 0,338 | 0,287 | 0,240 | 0,190 | 0,146 | 0,162 | 0,343 | 0,542 | 0,380 |
| 1995 | 0,378 | 1,13  | 0,409 | 0,363 | 0,338 | 0,211 | 0,166 | 0,119 | 0,080 | 0,065 | 0,118 | 0,291 | 0,305 |
| 1996 | 0,471 | 0,330 | 0,262 | 0,210 | 0,153 | 0,130 | 0,103 | 0,083 | 0,073 | 0,063 | 0,162 | 0,274 | 0,193 |
| 1997 | 0,719 | 0,329 | 1,30  | 0,787 | 0,325 | 0,244 | 0,204 | 0,160 | 0,120 | 0,115 | 0,128 | 1,28  | 0,476 |
| 1998 | 0,569 | 0,426 | 0,267 | 0,201 | 0,184 | 0,156 | 0,126 | 0,107 | 0,075 | 0,105 | 0,332 | 0,482 | 0,253 |
| 1999 | 0,428 | 0,341 | 0,895 | 0,244 | 0,175 | 0,133 | 0,105 | 0,084 | 0,067 | 0,083 | 0,212 | 0,662 | 0,286 |
| 2000 | 0,780 | 1,07  | 1,01  | 0,520 | 0,323 | 0,256 | 0,190 | 0,155 | 0,143 | 0,094 | 0,226 | 0,561 | 0,443 |
| 2001 | 0,329 | 0,211 | 0,248 | 0,157 | 0,114 | 0,091 | 0,075 | 0,071 | 0,088 | 0,087 | 0,228 | 0,301 | 0,167 |
| 2002 | 0,454 | 0,471 | 0,398 | 0,246 | 0,152 | 0,111 | 0,095 | 0,074 | 0,066 | 0,053 | 0,117 | 0,389 | 0,219 |
| 2003 | 1,91  | 0,674 | 0,757 | 0,793 | 0,337 | 0,215 | 0,168 | 0,129 | 0,119 | 0,101 | 0,121 | 0,180 | 0,459 |
| 2004 | 0,668 | 1,63  | 1,21  | 0,887 | 0,440 | 0,275 | 0,217 | 0,163 | 0,122 | 0,242 | 0,168 | 0,596 | 0,552 |
| 2005 | 1,10  | 1,62  | 1,78  | 0,792 | 0,509 | 0,295 | 0,230 | 0,198 | 0,169 | 0,144 | 0,375 | 1,92  | 0,761 |
| 2006 | 0,874 | 0,749 | 1,07  | 0,874 | 0,543 | 0,367 | 0,286 | 0,234 | 0,198 | 0,264 | 0,388 | 1,33  | 0,598 |
| 2007 | 1,99  | 2,67  | 0,866 | 0,625 | 0,458 | 0,330 | 0,272 | 0,220 | 0,182 | 0,155 | 0,188 | 0,232 | 0,682 |
| 2008 | 0,284 | 0,763 | 1,03  | 0,566 | 0,471 | 0,322 | 0,256 | 0,223 | 0,195 | 0,119 | 0,161 | 0,264 | 0,388 |
| 2009 | 0,629 | 0,917 | 0,435 | 0,711 | 0,330 | 0,220 | 0,161 | 0,131 | 0,143 | 0,155 | 0,157 | 0,708 | 0,392 |

|       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2010  | 0,579 | 0,311 | 0,430 | 0,806 | 0,300 |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Média | 0,985 | 0,991 | 0,826 | 0,580 | 0,371 | 0,278 | 0,224 | 0,195 | 0,177 | 0,202 | 0,337 | 0,789 | 0,494 |

## C.2 Vazões Mínimas Mensais – Bacia Estudada

Série: Bacia Estudada (Consistido, Média Diária, 07/1973 - 05/2010)

Mínimas Mensais

=====

| Ano   | Jan   | Fev   | Mar   | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez   | Mínima |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1973  |       |       |       |       |       |       | 0,133 | 0,570 | 0,592 | 0,614 | 0,636 | 0,801 |        |
| 1974  | 0,826 | 0,729 | 0,729 | 0,625 | 0,388 | 0,290 | 0,237 | 0,182 | 0,138 | 0,130 | 0,122 | 0,114 | 0,114  |
| 1975  | 0,182 | 0,218 | 0,249 | 0,257 | 0,218 | 0,164 | 0,130 | 0,076 | 0,055 | 0,055 | 0,076 | 0,218 | 0,055  |
| 1976  | 0,182 | 0,249 | 0,333 | 0,227 | 0,155 | 0,098 | 0,083 | 0,062 | 0,055 | 0,098 | 0,200 | 0,466 | 0,055  |
| 1977  | 0,456 | 0,351 | 0,237 | 0,218 | 0,237 | 0,182 | 0,130 | 0,106 | 0,083 | 0,083 | 0,069 | 0,130 | 0,069  |
| 1978  | 0,299 | 0,299 | 0,507 | 0,342 | 0,282 | 0,237 | 0,182 | 0,130 | 0,098 | 0,091 | 0,091 | 0,138 | 0,091  |
| 1979  | 0,407 | 2,41  | 0,954 | 0,682 | 0,538 | 0,426 | 0,351 | 0,299 | 0,241 | 0,218 | 0,237 | 0,237 | 0,218  |
| 1980  | 0,765 | 1,85  | 0,671 | 0,659 | 0,507 | 0,436 | 0,360 | 0,290 | 0,265 | 0,237 | 0,237 | 0,407 | 0,237  |
| 1981  | 0,864 | 0,614 | 0,517 | 0,517 | 0,407 | 0,333 | 0,282 | 0,249 | 0,200 | 0,227 | 0,581 | 0,729 | 0,200  |
| 1982  | 1,06  | 0,705 | 0,777 | 0,729 | 0,671 | 0,507 | 0,446 | 0,379 | 0,351 | 0,333 | 0,307 | 0,307 | 0,307  |
| 1983  | 0,486 | 0,978 | 0,738 | 1,12  | 0,729 | 0,570 | 0,486 | 0,398 | 0,360 | 0,229 | 0,370 | 0,741 | 0,229  |
| 1984  | 0,576 | 0,581 | 0,549 | 0,538 | 0,407 | 0,333 | 0,299 | 0,249 | 0,218 | 0,173 | 0,147 | 0,241 | 0,147  |
| 1985  | 0,282 | 0,636 | 0,456 | 0,407 | 0,351 | 0,307 | 0,265 | 0,218 | 0,182 | 0,182 | 0,164 | 0,182 | 0,164  |
| 1986  | 0,466 | 0,570 | 0,436 | 0,333 | 0,282 | 0,237 | 0,191 | 0,155 | 0,147 | 0,098 | 0,091 | 0,147 | 0,091  |
| 1987  | 0,282 | 0,237 | 0,237 | 0,218 | 0,138 | 0,130 | 0,098 | 0,069 | 0,062 | 0,055 | 0,083 | 0,265 | 0,055  |
| 1988  | 0,265 | 0,265 | 0,316 | 0,265 | 0,227 | 0,164 | 0,098 | 0,083 | 0,069 | 0,069 | 0,098 | 0,147 | 0,069  |
| 1989  | 0,237 | 0,237 | 0,237 | 0,200 | 0,147 | 0,130 | 0,098 | 0,069 | 0,069 | 0,069 | 0,083 | 0,218 | 0,069  |
| 1990  | 0,466 | 0,426 | 0,342 | 0,265 | 0,182 | 0,218 | 0,182 | 0,147 | 0,147 | 0,138 | 0,147 | 0,147 | 0,138  |
| 1991  | 0,316 | 0,407 | 0,659 | 0,456 | 0,351 | 0,282 | 0,249 | 0,182 | 0,155 | 0,147 | 0,147 | 0,316 | 0,147  |
| 1992  | 0,307 | 1,06  | 0,753 | 0,456 | 0,446 | 0,407 | 0,299 | 0,265 | 0,265 | 0,265 | 0,507 | 1,07  | 0,265  |
| 1993  | 0,864 | 0,993 | 0,507 | 0,426 | 0,316 | 0,265 | 0,237 | 0,200 | 0,164 | 0,147 | 0,114 | 0,114 | 0,114  |
| 1994  | 0,538 | 0,407 | 0,265 | 0,370 | 0,299 | 0,265 | 0,218 | 0,164 | 0,130 | 0,130 | 0,114 | 0,299 | 0,114  |
| 1995  | 0,249 | 0,316 | 0,370 | 0,316 | 0,282 | 0,182 | 0,130 | 0,106 | 0,069 | 0,055 | 0,069 | 0,083 | 0,055  |
| 1996  | 0,229 | 0,172 | 0,190 | 0,155 | 0,138 | 0,123 | 0,094 | 0,064 | 0,064 | 0,054 | 0,081 | 0,101 | 0,054  |
| 1997  | 0,219 | 0,229 | 0,607 | 0,448 | 0,266 | 0,191 | 0,191 | 0,147 | 0,106 | 0,091 | 0,091 | 0,337 | 0,091  |
| 1998  | 0,374 | 0,337 | 0,227 | 0,164 | 0,164 | 0,138 | 0,114 | 0,091 | 0,069 | 0,069 | 0,098 | 0,258 | 0,069  |
| 1999  | 0,190 | 0,138 | 0,316 | 0,191 | 0,164 | 0,114 | 0,098 | 0,076 | 0,062 | 0,042 | 0,092 | 0,133 | 0,042  |
| 2000  | 0,395 | 0,604 | 0,729 | 0,369 | 0,272 | 0,229 | 0,172 | 0,130 | 0,108 | 0,070 | 0,108 | 0,229 | 0,070  |
| 2001  | 0,219 | 0,190 | 0,190 | 0,115 | 0,108 | 0,075 | 0,070 | 0,059 | 0,054 | 0,059 | 0,064 | 0,094 | 0,054  |
| 2002  | 0,209 | 0,243 | 0,253 | 0,175 | 0,125 | 0,095 | 0,081 | 0,056 | 0,045 | 0,035 | 0,068 | 0,056 | 0,035  |
| 2003  | 0,452 | 0,448 | 0,277 | 0,404 | 0,258 | 0,190 | 0,147 | 0,121 | 0,098 | 0,092 | 0,092 | 0,109 | 0,092  |
| 2004  | 0,147 | 0,649 | 0,804 | 0,635 | 0,316 | 0,240 | 0,190 | 0,147 | 0,098 | 0,092 | 0,140 | 0,160 | 0,092  |
| 2005  | 0,720 | 0,790 | 0,969 | 0,664 | 0,337 | 0,267 | 0,206 | 0,183 | 0,147 | 0,121 | 0,147 | 0,326 | 0,121  |
| 2006  | 0,621 | 0,578 | 0,578 | 0,692 | 0,433 | 0,316 | 0,258 | 0,206 | 0,175 | 0,175 | 0,223 | 0,337 | 0,175  |
| 2007  | 0,914 | 1,21  | 0,664 | 0,521 | 0,389 | 0,296 | 0,249 | 0,190 | 0,168 | 0,147 | 0,147 | 0,168 | 0,147  |
| 2008  | 0,190 | 0,374 | 0,607 | 0,375 | 0,389 | 0,277 | 0,240 | 0,206 | 0,183 | 0,087 | 0,072 | 0,119 | 0,072  |
| 2009  | 0,226 | 0,433 | 0,309 | 0,404 | 0,252 | 0,202 | 0,138 | 0,102 | 0,102 | 0,102 | 0,102 | 0,119 | 0,102  |
| 2010  | 0,404 | 0,252 | 0,266 | 0,404 | 0,214 |       |       |       |       |       |       |       |        |
| Média | 0,429 | 0,573 | 0,482 | 0,415 | 0,308 | 0,248 | 0,201 | 0,174 | 0,151 | 0,137 | 0,168 | 0,272 | 0,117  |

## C.2 Vazões Máximas Mensais – Bacia Estudada

Série: Bacia Estudada (Consistido, Média Diária, 07/1973 - 05/2010)

Máximas Mensais

| Ano   | Jan   | Fev   | Mar   | Abr   | Mai   | Jun   | Jul   | Ago   | Set   | Out   | Nov   | Dez   | Máxima |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1973  |       |       |       |       |       |       | 0,229 | 0,636 | 0,826 | 1,64  | 2,46  | 1,85  |        |
| 1974  | 3,99  | 1,29  | 4,60  | 1,39  | 0,614 | 0,388 | 0,282 | 0,237 | 0,182 | 0,826 | 0,209 | 0,614 | 4,60   |
| 1975  | 1,80  | 5,35  | 0,360 | 0,614 | 0,379 | 0,218 | 0,173 | 0,130 | 0,130 | 0,274 | 2,87  | 3,25  | 5,35   |
| 1976  | 0,407 | 2,96  | 1,32  | 0,388 | 0,227 | 0,164 | 0,130 | 0,098 | 2,49  | 0,517 | 1,62  | 2,60  | 2,96   |
| 1977  | 1,35  | 1,06  | 0,682 | 0,915 | 0,299 | 0,241 | 0,173 | 0,130 | 0,173 | 3,18  | 0,316 | 1,05  | 3,18   |
| 1978  | 1,89  | 2,01  | 2,81  | 0,614 | 0,636 | 0,316 | 0,237 | 0,173 | 0,138 | 0,200 | 0,316 | 3,62  | 3,62   |
| 1979  | 8,33  | 3,85  | 2,62  | 1,12  | 0,671 | 0,549 | 0,426 | 0,351 | 0,299 | 0,496 | 0,496 | 4,76  | 8,33   |
| 1980  | 7,25  | 4,29  | 1,72  | 2,56  | 0,801 | 0,603 | 0,426 | 0,360 | 0,370 | 0,446 | 1,29  | 1,80  | 7,25   |
| 1981  | 3,92  | 1,02  | 1,48  | 1,01  | 0,528 | 0,581 | 0,351 | 0,316 | 0,241 | 7,16  | 1,57  | 2,11  | 7,16   |
| 1982  | 3,16  | 1,56  | 7,98  | 1,69  | 1,56  | 0,671 | 0,549 | 0,446 | 0,379 | 0,507 | 1,48  | 1,26  | 7,98   |
| 1983  | 6,65  | 3,80  | 2,13  | 3,84  | 1,27  | 0,729 | 0,570 | 0,466 | 0,436 | 1,10  | 4,55  | 3,98  | 6,65   |
| 1984  | 1,79  | 0,851 | 0,659 | 1,33  | 0,538 | 0,398 | 0,333 | 0,325 | 0,274 | 0,265 | 2,02  | 1,45  | 2,02   |
| 1985  | 7,83  | 3,18  | 0,789 | 0,507 | 0,466 | 0,398 | 0,307 | 0,249 | 0,237 | 0,496 | 0,592 | 0,636 | 7,83   |
| 1986  | 3,92  | 3,69  | 1,19  | 0,436 | 0,360 | 0,282 | 0,237 | 0,191 | 0,182 | 0,147 | 0,456 | 3,92  | 3,92   |
| 1987  | 3,18  | 0,426 | 0,333 | 1,05  | 0,218 | 0,147 | 0,130 | 0,098 | 0,915 | 0,147 | 0,528 | 3,03  | 3,18   |
| 1988  | 1,36  | 0,789 | 0,559 | 0,729 | 0,333 | 0,249 | 0,164 | 0,106 | 0,083 | 0,801 | 0,915 | 1,64  | 1,64   |
| 1989  | 1,26  | 3,22  | 2,81  | 0,265 | 0,200 | 0,147 | 0,147 | 0,130 | 0,147 | 0,456 | 3,47  | 7,66  | 7,66   |
| 1990  | 3,39  | 1,02  | 0,549 | 0,407 | 0,316 | 0,249 | 0,333 | 0,218 | 0,316 | 0,538 | 2,74  | 5,07  | 5,07   |
| 1991  | 2,24  | 2,32  | 4,36  | 3,03  | 0,507 | 0,333 | 0,282 | 0,249 | 0,200 | 0,407 | 1,05  | 3,18  | 4,36   |
| 1992  | 6,23  | 6,95  | 1,84  | 0,826 | 0,826 | 0,446 | 0,407 | 0,316 | 0,325 | 0,851 | 3,18  | 5,38  | 6,95   |
| 1993  | 1,96  | 2,77  | 1,27  | 0,614 | 0,417 | 0,316 | 0,265 | 0,249 | 0,200 | 0,182 | 0,164 | 7,08  | 7,08   |
| 1994  | 1,14  | 0,614 | 0,864 | 0,528 | 0,370 | 0,316 | 0,249 | 0,218 | 0,164 | 0,182 | 2,31  | 1,89  | 2,31   |
| 1995  | 1,64  | 4,14  | 0,507 | 0,426 | 0,388 | 0,237 | 0,237 | 0,130 | 0,098 | 0,069 | 0,241 | 0,729 | 4,14   |
| 1996  | 1,12  | 1,58  | 0,525 | 0,450 | 0,190 | 0,138 | 0,123 | 0,094 | 0,081 | 0,070 | 0,638 | 1,14  | 1,58   |
| 1997  | 2,18  | 0,540 | 4,45  | 2,17  | 0,404 | 0,276 | 0,237 | 0,191 | 0,138 | 0,182 | 0,316 | 5,86  | 5,86   |
| 1998  | 1,18  | 0,706 | 0,337 | 0,306 | 0,200 | 0,164 | 0,138 | 0,114 | 0,091 | 0,296 | 1,32  | 0,982 | 1,32   |
| 1999  | 1,25  | 2,13  | 2,74  | 0,296 | 0,191 | 0,164 | 0,114 | 0,091 | 0,069 | 0,240 | 0,706 | 4,29  | 4,29   |
| 2000  | 2,05  | 2,99  | 1,79  | 0,718 | 0,382 | 0,272 | 0,229 | 0,190 | 0,209 | 0,123 | 0,422 | 1,43  | 2,99   |
| 2001  | 0,588 | 0,331 | 0,408 | 0,209 | 0,155 | 0,108 | 0,081 | 0,200 | 0,343 | 0,155 | 0,823 | 0,846 | 0,846  |
| 2002  | 1,60  | 0,882 | 1,39  | 0,377 | 0,175 | 0,125 | 0,109 | 0,088 | 0,133 | 0,203 | 0,561 | 2,39  | 2,39   |
| 2003  | 7,23  | 1,24  | 2,43  | 2,09  | 0,621 | 0,249 | 0,190 | 0,147 | 0,206 | 0,121 | 0,240 | 1,18  | 7,23   |
| 2004  | 3,12  | 5,22  | 2,28  | 1,53  | 0,578 | 0,316 | 0,240 | 0,183 | 0,133 | 3,68  | 0,223 | 1,56  | 5,22   |
| 2005  | 2,32  | 8,79  | 3,69  | 1,09  | 0,748 | 0,326 | 0,267 | 0,223 | 0,190 | 0,175 | 3,51  | 6,26  | 8,79   |
| 2006  | 1,23  | 1,86  | 2,86  | 1,27  | 0,664 | 0,433 | 0,316 | 0,277 | 0,326 | 0,790 | 0,831 | 4,49  | 4,49   |
| 2007  | 3,20  | 7,83  | 1,09  | 0,873 | 0,521 | 0,389 | 0,296 | 0,249 | 0,190 | 0,168 | 0,267 | 0,433 | 7,83   |
| 2008  | 0,914 | 3,15  | 2,64  | 1,60  | 0,578 | 0,389 | 0,277 | 0,240 | 0,258 | 0,168 | 0,463 | 0,762 | 3,15   |
| 2009  | 1,94  | 3,81  | 0,720 | 2,20  | 0,433 | 0,252 | 0,202 | 0,309 | 0,309 | 0,309 | 0,448 | 3,59  | 3,81   |
| 2010  | 1,01  | 0,477 | 0,941 | 4,16  | 0,404 |       |       |       |       |       |       |       |        |
| Média | 2,85  | 2,67  | 1,88  | 1,18  | 0,491 | 0,322 | 0,256 | 0,227 | 0,310 | 0,745 | 1,23  | 2,80  | 4,81   |