



**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**

Procuradoria Geral do Estado

**BANCO INTERNACIONAL PARA RECONSTRUÇÃO
E DESENVOLVIMENTO - BIRD (BANCO MUNDIAL)**

**Ministério da Integração Nacional - MI
Programa Nacional de Desenvolvimento
dos Recursos Hídricos - PROÁGUA NACIONAL -
Acordo de Empréstimo N.º.: 7420-BR - BID**

**Governo do Estado do Ceará
Projeto de Gestão Integrada dos
Recursos Hídricos PROGERIRH II
Acordo de Empréstimo N.º.: 7630-BR**

**ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E DO PROJETO EXECUTIVO
DO EIXO DE INTEGRAÇÃO DA IBIAPABA/CE PARA CONSTRUÇÃO DAS
BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU, DO CANAL/TÚNEL E DA
PENSTOCK/PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH.**

ETAPA B3 – PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM LONTRAS

VOLUME 1 - ESTUDOS BÁSICOS

Tomo 3 - Estudos Hidrológicos



Integração
Ministério da Integração Nacional



**SECRETARIA DOS
RECURSOS HÍDRICOS**
Governo do Estado do Ceará



**PROÁGUA
NACIONAL**



**BANCO
MUNDIAL**



EngeSoft
Engenharia e Consultoria Ltda.



Yibi
ENGENHARIA
CONSULTIVA S/S.

consórcio

Revisão : Dezembro/2012

Elaboração do Estudo de Viabilidade e do Projeto Executivo do Eixo de Integração da Ibiapaba/Ce (Para Construção das Barragens Lontras e Inhuçu, do Canal/Túnel e da Penstock/Pequena Central Hidrelétrica - PCH)

Etapa B3 – Projeto Executivo da Barragem Lontras

Volume 1 – ESTUDOS BÁSICOS

Tomo 3 – Estudos Hidrológicos

Revisão : Dezembro/2012

ÍNDICE

ÍNDICE

Páginas

ÍNDICE	1
APRESENTAÇÃO.....	9
1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 METODOLOGIA A SER UTILIZADA	15
1.2 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO.....	16
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA	17
2.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA.....	18
2.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA.....	20
2.2.1 <i>Temperatura</i>	21
2.2.2 <i>Umidade Relativa</i>	22
2.2.3 <i>Evaporação</i>	23
2.2.4 <i>Evapotranspiração Potencial</i>	25
2.2.5 <i>Insolação</i>	27
2.2.6 <i>Velocidade dos Ventos</i>	28
2.2.7 <i>Regime de Chuvas</i>	29
2.2.8 <i>A Variabilidade Interanual das Chuvas na Bacia dos Barragens Inhuçu e Lontras</i>	36
3 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BARRAGENS INHUÇU E LONTRAS.....	38
4 O REGIME DE CHUVAS INTENSAS NAS BACIAS DAS BARRAGENS INHUÇU E LONTRAS.....	41
4.1 DETERMINAÇÃO DA DURAÇÃO DA CHUVA CRÍTICA	42
4.2 OS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS POTENCIALMENTE UTILIZÁVEIS	43
4.3 METODOLOGIA PARA CÁLCULO DAS CHUVAS INTENSAS	44
4.3.1 <i>Seleção da distribuição de probabilidades e estimativas dos valores das precipitações máximas anuais</i> . 47	
4.3.2 <i>Características das Séries de Chuvas Máximas com 1 dia de Duração</i>	48
4.3.3 <i>Chuvas máximas com durações de 24 horas</i>	48
4.3.4 <i>Chuvas Máximas com Duração de 1 hora</i>	49
4.3.5 <i>Conversão da chuva pontual em chuva espacial</i>	49
5 O REGIME FLUVIAL DO RIO INHUÇU NAS BARRAGENS INHUÇU E LONTRAS	57
5.1 DADOS FLUVIOMÉTRICOS DISPONÍVEIS	58
5.2 VAZÕES EM ESTUDOS ANTERIORES: ANÁLISE COMPARATIVA	62

6.A CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO DAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU	66
5.3 A EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO DE UM RESERVATÓRIO.....	67
5.4 A SIMULAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS UTILIZANDO O PROGRAMA SIMRES.....	68
5.5 DADOS DE ENTRADA DO SIMRES PARA BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU	69
5.5.1 <i>Dados do TAPE3.DAT</i>	69
5.5.2 <i>Dados do TAPE2.DAT</i>	69
5.5.3 <i>Cenários Simulados</i>	70
5.6 AS VAZÕES REGULARIZADAS PELOS RESERVATÓRIOS LONTRAS E INHUÇU.....	71
6 O ESTUDO DE CHEIAS E DO VERTEDOURO.....	76
6.1 INTRODUÇÃO	77
6.2 A CHUVA DE PROJETO	78
6.3 MÉTODO CHUVA-DEFLÚVIO ADOTADO	80
6.3.1 <i>Hidrograma unitário sintético da bacia para uma precipitação de 1 mm e duração igual a 1/5 do tempo de concentração</i>	81
6.3.2 <i>Determinação da precipitação efetiva (P_E)</i>	81
6.4 AS CHEIAS MÁXIMAS COM TR = 1.000 E 10.000 ANOS AFLUENTES E EFLUENTES AO RESERVATÓRIO LONTRAS	82
7 CONCLUSÕES.....	89

ÍNDICE FIGURA

Páginas

Figura 2.1 - Localização da área em estudo em relação à bacia do Poti e às suas bacias vizinhas no estado do Ceará	19
Figura 2.2 - Hidrografia da bacia das Barragens Inhuçu e Lontras	19
Figura 2.3 - Localização das estações climatológicas de Sobral e Crateús em relação à bacia hidrográfica do rio Inhuçu (retângulo em vermelho).....	20
Figura 2.4 - Temperaturas Máximas, Médias e Mínimas na Área em Estudo (em °C). Fonte: INMET (1990)	22
Figura 2.5 - Umidade relativa (%) na Área em Estudo.....	23
Figura 2.6 - Evaporação média mensal na Área em Estudo (Fonte: INMET (1990))	25
Figura 2.7 - Evapotranspiração mensal média na Área em Estudo Estimada por Hargreaves e Penman-Montheith (mm).....	27
Figura 2.8 - Insolação mensal média na Área em Estudo (hs) (Fonte: Fonte: INMET (1990))	28
Figura 2.9 - Velocidade média dos ventos na Área em Estudo (m/s) (Fonte: Fonte: INMET (1990))	29
Figura 2.10 - Isoietas das bacias do Poti, Acaraú e Coreau (retângulo em vermelho marca a área em estudo).....	30
Figura 2.11 - Polígono de Thiessen da área em estudo, com as áreas de influência de cada posto.	32
Figura 2.12 - O regime de chuvas no posto Guaraciaba do norte	35
Figura 2.13 - O regime de chuvas no posto Carnaubal	35
Figura 2.14 - O regime de chuvas no Posto Croatá.....	36
Figura 2.15 - Precipitações anuais nos postos pluviométricos Croatá e Guaraciaba do Norte.....	37
Figura 3.1 - Curva Cota (m) x Volume (hm ³) do Barragem Lontras	40
Figura 3.2 - Curva Cota (m) x Volume (hm ³) da Barragem Inhuçu	40
Figura 4.1 - Isozonas de igual relação (Fonte: Torrico, 1975)	46
Figura 4.2 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Barragem Inhuçu com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Guaraciaba do Norte.	52

Figura 4.3 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Barragem Lontras com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Guaraciaba do Norte.	53
Figura 4.4 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Barragem Lontras (Área Livre a jusante do Barragem Inhuçu) com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Croatá.	54
Figura 5.1 - Vazões médias mensais Afluentes à barragem Lontras (hm ³).....	62
Figura 5.2 - Vazões médias mensais Afluentes à barragem Inhuçu (hm ³).....	62
Figura 0.1 - Vazões Regularizadas pelas Barragens Lontras e Inhuçu e pelo Sistema nos cenários A, B e C (em hm ³)	74
Figura 0.2 - Nível de operação do reservatório (em hm ³) e garantia associada a retirada de 3,0m ³ /s	75
Figura 6.1 - Chuva balanceada de 14 horas para Tr=1.000 anos para Lontras	80
Figura 6.2 - Chuva balanceada de 14 horas para Tr=10.000 anos para Lontras	80
Figura 6.3 - Hidrograma Unitário Sintético do Soil Conservation Service.....	80
Figura 6.4 - Hidrograma do Amortecimento da Cheia Milenar no Barragem Lontras.....	84
Figura 6.5 - Hidrograma do Amortecimento da Cheia Decamilenar no Barragem Lontras	85
Figura 6.6 - Sumário do Amortecimento da Cheia Milenar - (L=80m)	85
Figura 6.7 - Sumário do Amortecimento da Cheia Decamilenar - (L=80m).....	86
Figura 6.8 - Sumário do Amortecimento da Cheia Milenar - (L=100m)	86
Figura 6.9 - Sumário do Amortecimento da Cheia Decamilenar - (L=100m).....	87
Figura 6.10 - Sumário do Amortecimento da Cheia Milenar - (L=120m)	87
Figura 6.11 - Sumário do Amortecimento da Cheia Decamilenar - (L=120m).....	88

ÍNDICE QUADRO

Páginas

Quadro 2.1- Características da bacia hidrográfica do rio macambira nos Eixos barráveis	18
Quadro 2.2 - Características das Estações Climatológicas Sobral e Crateús	21
Quadro 2.3 - Temperaturas Máximas, Mínimas e Médias (°C) na Área em Estudo.....	21
Quadro 2.4 - Umidade Relativa na Área em Estudo (em %)	22
Quadro 2.5 - Evaporação mensal média na Área em Estudo (mm) Atmômetro Piché	24
Quadro 2.6 - Evapotranspiração mensal média na Área em Estudo Estimada por Hargreaves e Penman-Montheith (mm).....	26
Quadro 2.7 - Insolação mensal média na Área em Estudo (hs)	27
Quadro 2.8 – Velocidade média dos ventos na Área em Estudo (m/s)	28
Quadro 2.9 - postos pluviométricos e Extensões das séries históricas	30
Quadro 2.10 - Precipitação Média anual sobre a bacia das Barragens Inhuçu e Lontras.....	32
Quadro 2.11 - Características dos postos pluviométricos Croatá, Guaraciaba do Norte e Carnaubal.....	34
Quadro 2.12 - Precipitação média mensal dos postos pluviométricos Croatá, Guaraciaba do Norte e Carnaubal	34
Quadro 3.1 - Curva Cota (m) x Volume (hm ³) da Barragem Lontras	39
Quadro 3.2 - Curva Cota (m) x Volume (hm ³) da Barragem Inhuçu	39
Quadro 4.1 – Características das bacias hidrográficas das Barragens Lontras e Inhuçu	43
Quadro 4.2 - Postos pluviométricos e Extensões das séries históricas.....	43
Quadro 4.3 - Precipitações máximas (mm) em Guaraciaba do Norte, Ibiapina, Ubajara e Croatá com durações de 1 dia para períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, seguindo a distribuição Pearson Tipo III	47
Quadro 4.4 - Estatísticas básicas da série de precipitações máximas com duração de 1 dia para os postos pluviométricos Guaraciaba do Norte e Croatá	48

Quadro 4.5 - Precipitações máximas para $T_r = 1.000$ e 10.000 anos com duração de 24 horas (em milímetros) nos postos Croatá e Guaraciaba do Norte	48
Quadro 4.6 - Precipitações máximas intensas com duração de 1 hora e 24 horas (mm) associadas aos períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos nos postos Croatá e Guaraciaba do Norte	49
Quadro 4.7 - - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km^2 e precipitação em milímetros) sobre a Bacia do Barragem Inhuçu (posto Guaraciaba do Norte)	50
Quadro 4.8 - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km^2 e precipitação em milímetros) sobre a Bacia do Barragem Lontras (sem Barragem Inhuçu a montante) (posto Guaraciaba do Norte)	50
Quadro 4.9 - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km^2 e precipitação em milímetros) sobre a área livre Bacia do Barragem Lontras (Com Barragem Inhuçu a montante) (posto Croatá)	50
Quadro 4.10 - Distribuição acumulada da chuva sobre as bacias das Barragens Lontras e Inhuçu, a cada intervalo de 1 hora	55
Quadro 5.1 - Características do Posto Fluviométrico Croatá	58
Quadro 5.2 - Características das séries afluentes ao posto fluviométrico Croatá e aos Barragens Lontras e Inhuçu	58
Quadro 5.3 - Série Histórica de Vazões (m^3/s) no Posto Fluviométrico Croatá (Hidroweb – ANA)	59
Quadro 5.4 - Série de Vazões afluentes ao Barragem Lontras, em hm^3/ano	59
Quadro 5.5 - Série de Vazões afluentes ao Barragem Inhuçu, em hm^3/ano	60
Quadro 5.6- Vazões médias Mensais Afluentes às barragens Inhuçu e Lontras (hm^3)	61
Quadro 5.7 - Lamina (em mm) e coeficiente de escoamento (em mm) nos três estudos avaliados	63
Quadro 5.8 - Vazões médias Afluentes Anuais às barragens Inhuçu e Lontras (hm^3)	64
Quadro 5.1 - Evaporação Líquida do lago dos reservatórios Inhuçu e Lontras	70
Quadro 5.2 - Capacidades adotadas nos cenários A, B e C (em hm^3)	70
Quadro 5.3 - Vazões Regularizadas pelas Barragens Lontras e Inhuçu e pelo Sistema nos cenários A, B e C (em hm^3)	72

Quadro 5.4 - Nível de operação do reservatório (em hm ³) e garantia associada a retirada de 3,0m ³ /s	75
Quadro 6.1 - Distribuição temporal das precipitações incrementais ao longo de 18 horas (em mm) considerando o intervalo de duração de 1 hora – Lontras	79
Quadro 6.2 - Principais Características do reservatório Lontras.....	82
Quadro 6.3 - Vazões de pico dos hidrogramas afluentes e efluentes para Tr = 1.000 e 10.000 anos, Lâmina sobre a soleira do vertedouro e nível de amortecimento da barragem Lontras, considerando a largura do vertedouro 80, 100 e 120m.	83

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O objetivo geral da Política Estadual dos Recursos Hídricos do Ceará é promover o uso racional dos recursos hídricos e gerenciar os mesmos de uma maneira integrada e descentralizada. Neste contexto se insere o Eixo de Integração da Ibiapaba, o qual se constitui em um dos projetos empreendidos pelo Governo do Estado do Ceará para alcançar as metas de aproveitamento integrado dos recursos hídricos.

O Eixo de Integração da Ibiapaba, então concebido pelo PROGERIRH – Programa de Gerenciamento e Integração dos Recursos Hídricos, está localizado na região noroeste semi-árida do Estado do Ceará. Neste sistema, estão compreendidas as Bacias dos Rios Acaraú, Coreaú e Poti, sendo que esta última se estende também ao Estado do Piauí, onde constitui uma parte da Bacia do Parnaíba. Diferencia-se por ser o primeiro sistema complexo deste tipo a ser estudado, sendo que nele se prevê a transferência de águas da Bacia do Rio Poti (Parnaíba) para as Bacias dos Rios Acaraú e Coreaú.

O documento aqui apresentado integra os serviços de consultoria para ELABORAÇÃO DO ESTUDO DE VIABILIDADE E DO PROJETO EXECUTIVO DO EIXO DE INTEGRAÇÃO DA IBIAPABA/CE (PARA CONSTRUÇÃO DAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU DO CANAL/TÚNEL E PENSTOCK/PEQUENA CENTRAL HIDRELÉTRICA - PCH), objeto do contrato 02/PROGERIRH 2011 firmado entre o Consórcio ENGESOFT/IBI e a SRH/CE.

Referidos estudos visam promover o controle dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Inhuçu.

Conforme estabelecem os Termos de Referência contratuais, a finalidade principal com o desenvolvimento dos estudos contratados é aprofundar mais detalhadamente o atendimento às demandas de água das regiões de influências; proporcionar um aproveitamento racional das águas acumuladas nos reservatórios, para o abastecimento urbano e rural e para uso com o desenvolvimento da irrigação em áreas aptas a este tipo de atividade, e para a geração de energia elétrica, caso se mostre viável.

O estudo é composto pelas seguintes Fases e Etapas:

FASE A: ESTUDO DE VIABILIDADE

- Etapa A1 - Relatório de Identificação de Obras - RIO

- Etapa A2 - Estudos de Viabilidade Ambiental - EVA do Sistema (Barragens Lontras e Inhuçu, Canal/Túnel e Penstock/PCH)
- Etapa A3 - Estudos Básicos e Concepções Gerais dos Projetos das Barragens, Canal/Túnel e Penstock/PCH
- Etapa A4 - Relatório Final de Viabilidade - RFV.

FASE B: PROJETO EXECUTIVO

- Etapa B1 - Estudos de Impactos no Meio Ambiente EIA / RIMA
- Etapa B2 - Levantamento Cadastral e Plano de Reassentamento das Barragens Lontras e Inhuçu.
- Etapa B3 - Projeto Executivo das Barragens Lontras e Inhuçu e do Perímetro de Irrigação.
- Etapa B4 - Manuais de Operação e Manutenção do Sistema
- Etapa B5 - Avaliação Financeira e Econômica Final do Sistema – Barragens e Perímetro de Irrigação.

O presente documento faz parte da **Etapa B3 – Projeto Executivo da Barragem Lontras.**

O Projeto da **Barragem Lontras** é constituído de dois volumes, como discriminado a seguir:

- **Volume 1 – Estudos Básicos**

- Tomo 1: Relatório Geral;
- Tomo 2: Estudos Cartográficos;
- Tomo 2A: Estudos Cartográficos - Desenhos;
- **Tomo 3: Estudos Hidrológicos;**
- Tomo 4: Estudos Geológicos e Geotécnicos;
- Tomo 4A: Estudos Geológicos e Geotécnicos – Anexos dos estudos nos locais do barramento e sangradouro;
- Tomo 4B: Estudos Geológicos e Geotécnicos – Anexos dos estudos das jazidas;
- Tomo 5: Estudos Pedológicos;

- **Volume 2 – Projeto Executivo**

- Tomo 1: Relatório de Concepção Geral;
- Tomo 2: Desenhos;
- Tomo 3: Memória de Calculo;
- Tomo 3A: Memória de Calculo – Dimensionamento estrutural;
- Tomo 4: Especificações técnicas e normas de medição e pagamento;
- Tomo 5: Quantitativos e Orçamento;
- Tomo 5A: Calculo de Quantitativos;
- Tomo 6: Relatório Síntese;

O presente documento é nomeado como **Tomo 3: Estudos Hidrológicos do Volume 1- Estudos Básicos** e aborda os seguintes capítulos:

- Apresentação
- Introdução;
- Caracterização da área;
- Caracterização morfométrica das Barragens Inhuçu e Lontras;
- O regime de chuvas intensas nas bacias das Barragens Inhuçu e Lontras;
- O regime fluvial do rio Inhuçu (Macambira) nas barragens Inhuçu e Lontras;
- A capacidade de regularização das Barragens Lontras e Inhuçu ;
- O estudo de cheias e do vertedouro;
- Conclusão;

1 INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O presente documento apresenta o **Estudo Hidrológico dos Barragens Lontras e Inhuçu** e é parte do Projeto Executivo do Eixo de Integração da Ibiapaba/CE, representado pelas barragens Lontras e Perímetro de Irrigação.

O Estudo Hidrológico tem duplo objetivo:

- Estimar as cheias afluentes e efluentes as Barragens Inhuçu e Lontras, com períodos de retorno iguais a 1.000 e 10.000 anos, caracterizadas por suas grandes magnitudes, sendo de especial importância a sua determinação para a segurança das obras.
- Estimar a capacidade de regularização das Barragens Inhuçu e Lontras para uma garantia anual de 90%

Serão simulados três Cenários de topologia na bacia do rio Macambira (Inhuçu/Lontras), onde as barragens se localizam:

- **Cenário A** – Reservatório Inhuçu isolado;
- **Cenário B** – Reservatório Lontras isolado;
- **Cenário C** – Reservatórios Lontras e Inhuçu em série (Reservatório Inhuçu a montante de Lontras)

O rio Macambira é afluente do rio Poti e, portanto, deve atender às exigências da Resolução Conjunta ANA/SRH-CE/SEMAR-PI N° 547/2006 (Marco Regulatório da bacia) *“que dispõe sobre a estratégia de gestão de recursos hídricos nas bacias dos rios Poti e Longá e procedimentos e condições para as outorgas preventiva e de direito de uso, considerando a regularização das intervenções e usos atuais, bem como as regras para as intervenções e usos futuros”*.

No que se refere especificamente às capacidades máximas de acumulação dos reservatórios projetados na bacia do rio Inhuçu, o Marco Regulatório estabelece no seu Art.14° que *“A capacidade máxima de acumulação para os novos Açudes a serem construídos na bacia do rio Inhuçu, no Estado do Ceará, é de 420hm³”*.

No **Cenário A**, o Barragem Inhuçu (barramento único) será simulado com capacidade de acumulação igual a 100hm³ (a capacidade máxima neste eixo seria de 180hm³, quando a capacidade de regularização passa a decrescer).

Considerando-se o **Cenário B**, no qual Lontras é um barramento único, sua capacidade máxima será considerada 350 hm³, inferior à máxima permitida, em função de limitação imposta para que a área urbana da sede municipal de Croatá não seja inundada pela bacia hidráulica. E, finalmente no **Cenário C**, com os dois reservatórios em série, variar-se-á a capacidade do Inhuçu entre 40 e 100 hm³ e Lontras entre 350 (limite máximo em função de Croatá) e 320 hm³ (complemento para a capacidade máxima estipulada pela Resolução).

1.1 METODOLOGIA A SER UTILIZADA

Estimativa das Cheias Máximas

Usualmente, a determinação da cheia máxima para um dado período de recorrência baseia-se em uma série de registros anteriores de deflúvio naquela seção e, posteriormente, no ajustamento a uma distribuição de probabilidades conhecida. A eficácia deste método, entretanto, depende, em grande parte, da estabilidade das características principais do regime do curso d'água. A inexistência de posto fluviométrico, com medições sistemática (de longo período) de defluxos nos sítios das barragens analisadas, impossibilita o emprego deste método.

Assim sendo, a cheia máxima será estimada a partir de dados de precipitação, determinada a chuva de projeto ($T_r = 1.000$ e 10.000 anos), transformada, a posteriori, em escoamento superficial através da aplicação de modelo chuva-deflúvio. Utilizar-se-á o Método do Hidrograma Unitário, desenvolvido pelo *U.S. Soil Conservation Service*, cujas características se baseiam numa generalização das condições médias encontradas em numerosos casos para os quais se dispunha de dados fluviométricos.

Os programas utilizados no trabalho serão: EXVAL, o qual ajusta as séries de precipitações máximas a várias distribuições de probabilidades e calcula os seus valores para diversos períodos de retorno e o HEC-HMS desenvolvido pelo US Army Corps of Engineers, o qual transforma os dados de precipitação em vazão.

Estimativa da Capacidade de Regularização do Reservatório

A capacidade de regularização das Barragens Lontras e Inhuçu serão determinadas através da operação simulada dos reservatórios – isolados e em série – dependendo do cenário adotado. O programa SIMRES, desenvolvido pelo Grupo de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, será utilizado nesta etapa.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

Este documento foi organizado em oito capítulos. O presente capítulo trata da apresentação do problema e discorre sobre a maneira como o relatório foi organizado.

O segundo capítulo faz a caracterização climatológica com vistas a permitir uma melhor visão do ambiente onde as barragens Lontras e Inhuçu estão inseridas. São identificados os postos pluviométricos e evaporimétricos existentes nas bacias e selecionados os postos cujos dados serão utilizados em capítulos posteriores.

No terceiro capítulo, é descrita a estrutura hidráulica das Barragens Inhuçu e Lontras e no quarto capítulo é feito o estudo das chuvas intensas nas bacias e calculadas as chuvas com períodos de retorno iguais a 1.000 e 10.000 anos.

O quinto capítulo avalia o regime fluvial do rio Inhuçu nos sítios das barragens e analisa os dados fluviométricos disponíveis na bacia (estudos anteriores e dados históricos de vazão) e selecionada a série a ser utilizada *a posteriori*.

No sexto capítulo é determinada a capacidade de regularização das Barragens Lontras e Inhuçu nos cenários definidos utilizando-se o programa computacional SIMRES. No sétimo são determinadas as cheias máximas afluentes e efluentes aos barramentos nos três cenários apresentados (isolados e em série) com o software HEC HMS e, finalmente, o oitavo capítulo trata das conclusões do trabalho.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

O Rio Inhuçu, afluente do Rio Poti, fica localizado na Serra da Ibiapaba, na porção oeste do Estado do Ceará. Desde a sua nascente até do local do eixo barrável Inhuçu, o rio Inhuçu percorre cerca de 50 km, drenando uma área de 847 km². A cerca de 25 km a sua jusante, situa-se o eixo barrável Lontras, drenando uma área livre (não controlada pelo barramento Inhuçu, a montante) de 567 Km². As principais características da bacia hidrográfica do rio Inhuçu, nos sítios das barragens Inhuçu e Lontras (Cenários A, B e C) podem ser observadas no **Quadro 2.1**. A localização da área de estudo, em relação ao Estado do Ceará e bacias vizinhas, pode ser observada na **Figura 2.1**.

Quadro 2.1- Características da bacia hidrográfica do rio macambira nos Eixos barráveis

Cenário	Barragem	Área (A) (Km ²)	Comprimento do rio principal (L) (Km)	Desnível (H) (m)
A	Inhuçu	847,0	50	320
B	Lontras	1.414,0	75	400
C	Lontras (área livre)	587,0	25	80

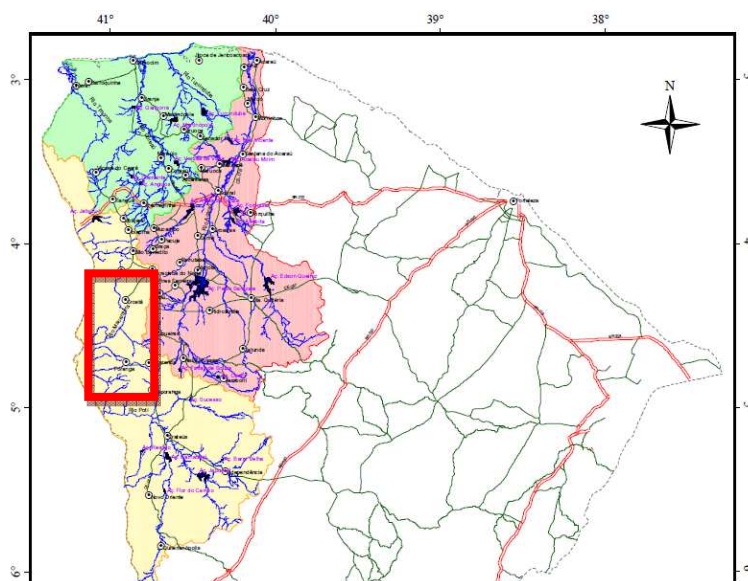


Figura 2.1 - Localização da área em estudo em relação à bacia do Poti e às suas bacias vizinhas no estado do Ceará

A hidrografia da bacia das Barragens Inhuçu e Lontras (área livre) é apresentada na **Figura 2.2.**

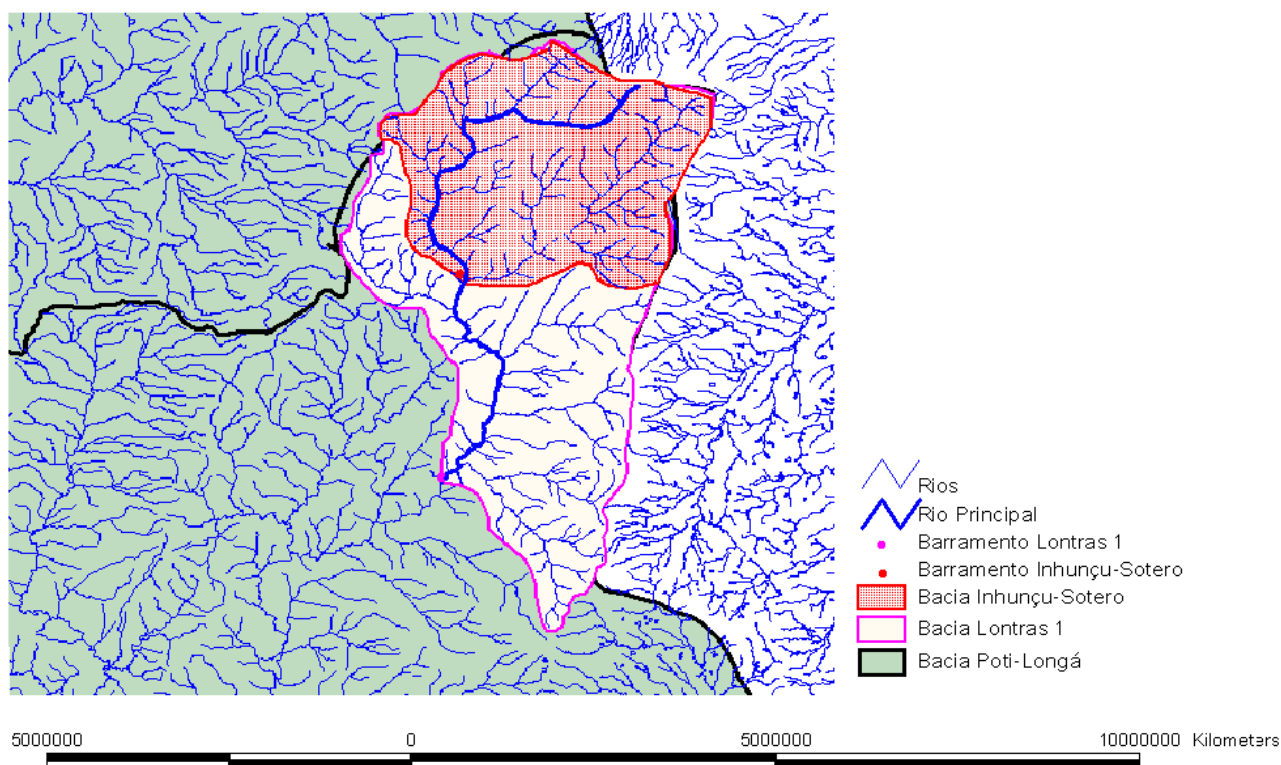


Figura 2.2 - Hidrografia da bacia das Barragens Inhuçu e Lontras

2.2 CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

A abordagem climatológica visa apresentar uma caracterização climática da área para permitir uma melhor visão do ambiente onde as barragens estão inseridas e dar subsídios às etapas subsequentes dos estudos realizados nas bacias hidrográficas das Barragens Inhuçu e Lontras, no que diz respeito ao aproveitamento dos seus recursos hídricos.

Para tanto, foram estudadas as seguintes grandezas hidro-climatológicas: temperatura, umidade relativa, insolação, velocidade dos ventos, evaporação e precipitação. Foi também calculada a evapotranspiração potencial por dois métodos – Hargreaves e Penman - Monteith – para estimar eventuais demandas hídricas para a irrigação.

Existem quatorze estações climatológicas no Estado do Ceará pertencentes ao INMET - Instituto Nacional de Meteorologia – das quais duas se situam nas proximidades da área em estudo: Sobral (na bacia vizinha do Rio Acaraú) e Crateús (na própria bacia do Rio Poti) (**Figura 2.3**). As características das estações climatológicas mencionadas encontram-se no **Quadro 2.2**.

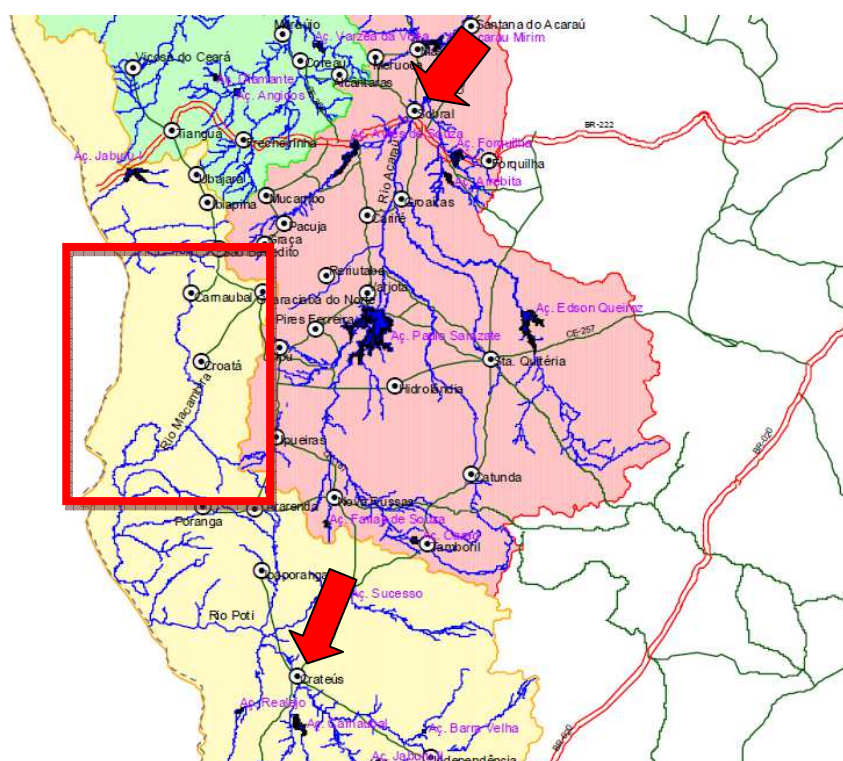


Figura 2.3 - Localização das estações climatológicas de Sobral e Crateús em relação à bacia hidrográfica do rio Inhuçu (retângulo em vermelho)

Quadro 2.2 - Características das Estações Climatológicas Sobral e Crateús

Município	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Total de Anos
Sobral	82392	03°44'S	40°20'W	109,6	23
Crateús	82583	05°10'S	40°40'W	296,8	23

Fonte: INMET (1990)

A estação climatológica Crateús, embora faça parte da bacia do Poti, está localizada na área mais semi-árida do Estado do Ceará, não refletindo o microclima mais ameno das bacias, em decorrência de altitudes mais elevadas. Sendo assim, em não existindo uma estação mais próxima dos barramentos, selecionou-se a estação Sobral como representativa das condições meteorológicas da região estudada.

2.2.1 Temperatura

O regime térmico das bacias é caracterizado por temperaturas médias em torno de 27°C. Os valores máximos ocorrem nos meses de setembro a dezembro e os mínimos, nos meses de abril a julho, durante a quadra chuvosa. No **Quadro 2.3** e na **Figura 2.4** são apresentados os valores de temperaturas médias, máximas e mínimas na estação Sobral.

Quadro 2.3 - Temperaturas Máximas, Mínimas e Médias (°C) na Área em Estudo

T (°C)	jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.	Média
Máximas	33,8	32,3	31,4	31,1	31,2	31,6	33,0	34,8	35,8	35,9	35,6	35,5	33,5
Mínimas	23,6	22,6	22,5	22,6	21,9	21,5	21,2	21,4	22,4	22,8	22,9	23,3	22,4
Médias	27,5	26,7	26,1	26,0	26,0	26,0	25,9	26,8	27,5	27,8	28,1	28,1	26,9

Fonte: INMET (1990)

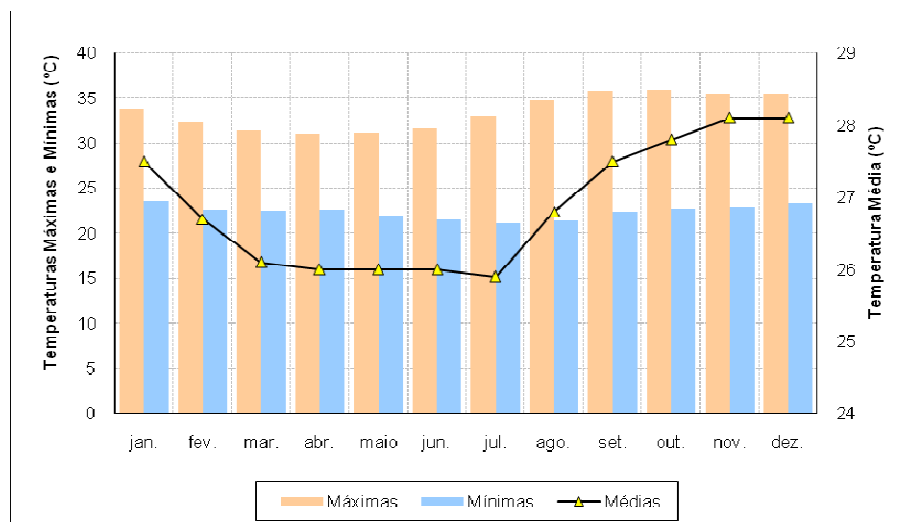


Figura 2.4 - Temperaturas Máximas, Médias e Mínimas na Área em Estudo (em °C).
Fonte: INMET (1990)

2.2.2 Umidade Relativa

A umidade média anual na região se situa em torno de 70%. As variações mensais estão intimamente relacionadas às irregularidades temporais do regime pluviométrico. A estação de Sobral (considerada como característica da região) apresenta maiores valores de umidade nos meses de março a maio; o período menos úmido, em termos gerais, se situa no segundo semestre do ano, nos meses de agosto a novembro, como pode ser observado no **Quadro 2.4** e na **Figura 2.5**.

Quadro 2.4 - Umidade Relativa na Área em Estudo (em %)

jan.	fev.	mar.	abr.	maio	jun.	jul.	ago.	set.	out.	nov.	dez.
69,0	74,0	81,0	85,0	80,0	74,0	66,0	55,0	55,0	58,0	57,0	61,0

Fonte: INMET (1990)

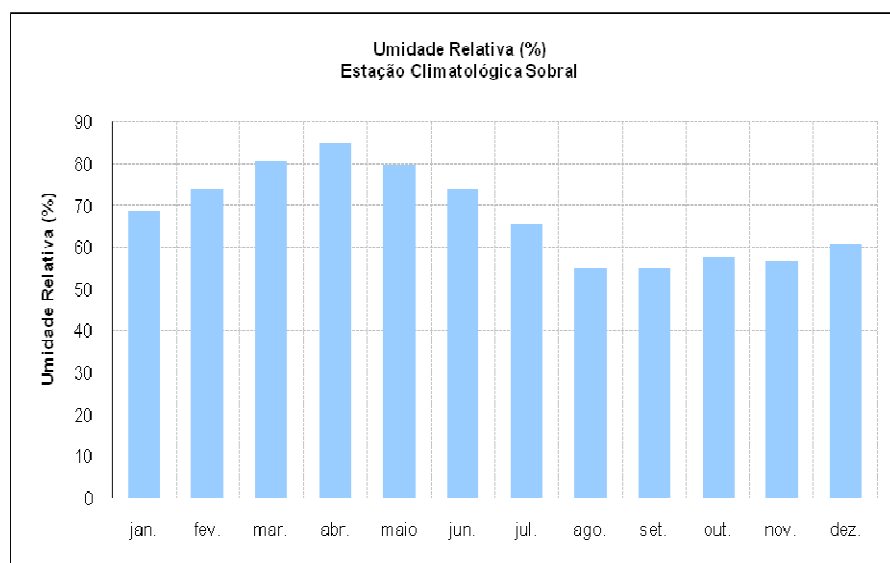


Figura 2.5 - Umidade relativa (%) na Área em Estudo

2.2.3 Evaporação

Adotando-se a estação climatológica Sobral como representativa da área em estudo, verifica-se que a evaporação anual média observada é de 1.774,8 mm, distribuída ao longo dos meses segundo o **Quadro 2.5** e **Figura 2.6**.

O **Quadro 2.5** apresenta ainda a evaporação nas 13 estações climatológicas do Estado. Observa-se que a estação Crateús (localizada na bacia do Poti) apresenta o maior valor para este parâmetro no Estado. Considerando-se que a região em estudo apresenta altitudes mais elevadas, acredita-se que a estação de Sobral, cujo valor é de 1.774,8 mm, realmente consiga representar melhor o fenômeno na bacia (observe que Guaramiranga, outra região de serra, tem sua evaporação estimada em 605,9mm. A escolha de Sobral, com evaporação menor que Crateús, é ainda corroborada pelo valor da evaporação encontrado em uma estação em bacia vizinha, em Piripiri - Piauí. Tais medições, realizadas pelo INMET/DNOCS, apontam a evaporação média anual de 1.819,00 mm na Estação Climatológica Caldeirão.

É importante salientar que os dados do **Quadro 2.5** se referem à medições com **tubo Piché** e não com **tanque Classe A**. Considerando que as condições de exposição dos dois tipos de evaporímetros são bastante diferentes, é de se esperar que eles não apresentem os mesmos resultados como medida da evaporação. Estudos realizados em estações climatológicas no Nordeste, nas quais os dois tipos de medições estavam disponíveis, indicam que os valores de evaporação medidos pelo tanque Classe “A são cerca de 20% a

30% maiores que àqueles medidos pelo tubo Piché (PERH-RN,1999). Assim sendo, neste estudo, no capítulo de simulação do balanço hídrico do reservatório, quando se utilizar dados de evaporação, não utilizar-se-á o coeficiente de redução de evaporação K_a proposto por Molle e Cadier (1989).

Quadro 2.5 - Evaporação mensal média na Área em Estudo (mm) Atmômetro Piché

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Acaraú	165,5	121,9	77,7	72,9	98,5	121,9	158,5	239,0	270,4	279,4	276,2	232,9	2114,8
Aracati	154,4	129,9	129,7	105,6	131,5	134,0	182,1	219,3	238,2	249,4	192,3	157,0	2023,4
Barbalha	151,6	107,7	93,7	96,1	135,5	170,4	208,1	256,5	274,4	254,7	235,0	208,7	2192,4
Campos Sales	165,7	102,3	91,1	92,6	139,6	170,3	222,6	283,7	291,2	296,3	254,2	221,9	2331,5
Crateús	242,5	138,4	106,3	86,8	119,1	178,6	248,5	310,0	350,7	373,0	353,3	315,1	2822,3
Fortaleza	127,7	93,8	72,4	67,5	80,5	93,5	115,2	153,2	159,2	163,9	158,9	149,4	1435,2
Guaramiranga	55,1	41,2	28,0	25,4	27,2	31,6	44,7	64,6	71,6	75,1	73,3	68,1	605,9
Iguatu	158,8	103,7	90,2	80,2	95,7	127,9	172,6	205,3	217,5	230,1	215,5	203,1	1900,6
Jaguaruana	195,3	137,1	104,6	90,9	105,4	124,7	167,4	204,9	225,0	231,3	214,4	206,2	2007,2
Juazeiro do Norte	172,6	126,2	107,5	114,7	147,5	184,8	238,0	277,4	295,9	297,0	259,9	227,9	2449,4
Morada Nova	208,6	140,5	99,2	95,3	110,4	139,1	189,2	240,7	265,1	282,8	256,7	255,8	2283,4
Quixeramobim	195,2	128,5	95,3	72,3	77,9	100,8	134,3	197,4	234,3	264,9	245,4	242,7	1989,0
Sobral	151,8	94,3	69,7	58,4	71,0	99,3	150,2	200,8	222,8	242,7	217,7	196,1	1774,8
Tauá	207,9	149,1	116,7	91,5	108,3	148,9	188,1	212,8	231,5	281,8	266,0	254,7	2257,3

Fonte: INMET (1990)

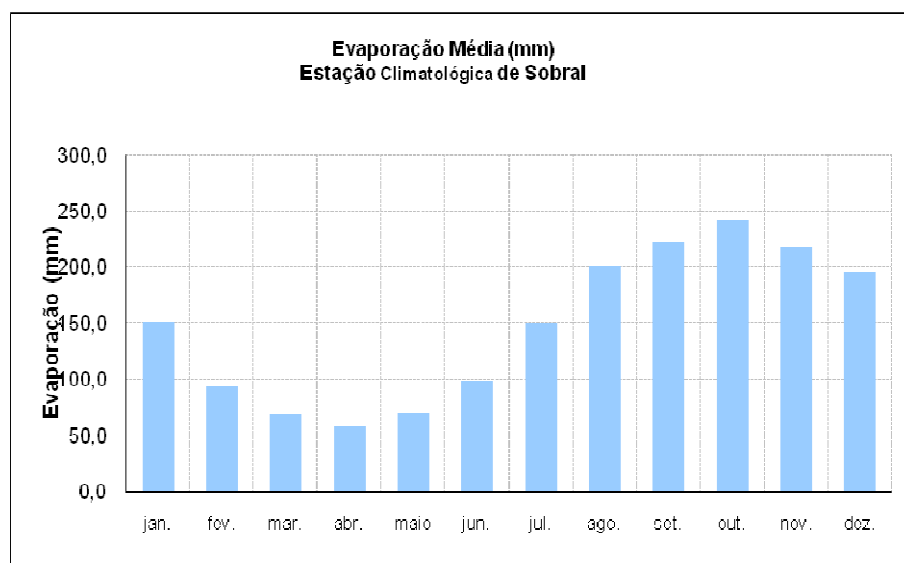


Figura 2.6 - Evaporação média mensal na Área em Estudo (Fonte: INMET (1990))

2.2.4 Evapotranspiração Potencial

Dentre os métodos disponíveis para a estimativa da evapotranspiração potencial (ETp) se destaca o de Hargreaves (1974), pela larga utilização em projetos de irrigação no Nordeste Brasileiro. Recentemente, entretanto, tem havido um consenso em torno da utilização de outra metodologia – a de Penman-Monteith – para a estimativa da Etp em todo o mundo.

O Método de Penman-Monteith é baseado no efeito combinado do transporte convectivo das massas de ar e da radiação líquida, conforme Equação 2.1.

$$\lambda_e \cdot ET_{pot} = \frac{\Delta_{vap} (R_n - G) + \rho_{ar} \cdot c_p \cdot (e_s - e_a)}{\Delta_{vap} + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \quad (2.1)$$

Onde: ET_{pot} - evapotranspiração potencial, λ_e - entalpia da evaporação da água, Δ_{vap} - curva que descreve a pressão de saturação do vapor d'água, e_a - pressão de saturação do vapor, γ - constante do psicrômetro, r_s - bulk resistance, r_a - resistência aerodinâmica, R_n - balanço de radiação, G - fluxo de calor através do solo e T_{ar} - a temperatura do ar ($^{\circ}C$).

O Método de Hargreaves tem sido comumente utilizado no Nordeste Brasileiro para o cálculo da Evapotranspiração Potencial. De fácil utilização, o método fornece a Etp em função da temperatura média compensada, da umidade relativa do ar e de um coeficiente de correção que depende da latitude do local considerado, conforme equação 2.2:

$$ETP = F \cdot (100 - U)^{1/2} \cdot 0,158 \cdot (32 + 1,8 T_{comp}) \quad (2.2)$$

onde: F - Fator dependente da latitude (adimensional); T_{comp} - Temperatura média compensada em $^{\circ}C$ e U - Umidade relativa do ar (%).

A evapotranspiração anual média estimada por Hargreaves é de 1.895,5mm e por Penman-Montheith é de 1.790,7mm, distribuída ao longo dos meses segundo o **Quadro 2.6 e Figura 2.7**.

Quadro 2.6 - Evapotranspiração mensal média na Área em Estudo Estimada por Hargreaves e Penman-Montheith (mm)

Método	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Hargreaves	156,9	142,5	128,7	133,2	146,6	144,3	163,1	177,6	179,7	186,6	175,8	160,6	1.895,6
Penman-Montheith	146,3	119,0	116,3	110,7	122,5	124,5	155,6	183,5	183,3	179,2	179,4	170,5	1.790,7

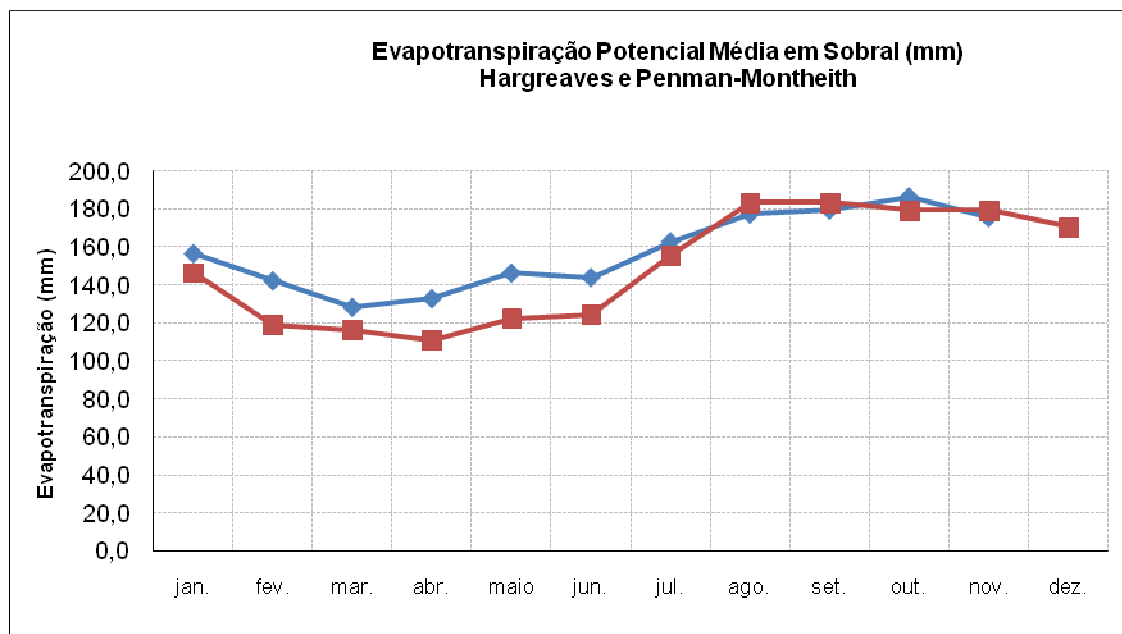


Figura 2.7 - Evapotranspiração mensal média na Área em Estudo Estimada por Hargreaves e Penman-Montheith (mm)

2.2.5 Insolação

O **Quadro 2.7**, juntamente com a **Figura 2.8**, mostram o número médio de horas de exposição ao sol, e sua distribuição mensal, na estação meteorológica Sobral. Em escala anual, a insolação na região se situa em torno de 2.525,2 horas, sendo os meses de menor insolação aqueles correspondentes ao período chuvoso, devido à presença de nebulosidade.

Quadro 2.7 - Insolação mensal média na Área em Estudo (hs)

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Sobral	188,1	159,5	155,0	151,7	189,3	205,4	234,7	268,2	251,4	258,9	241,1	221,9	2525,2

Fonte: INMET (1990)

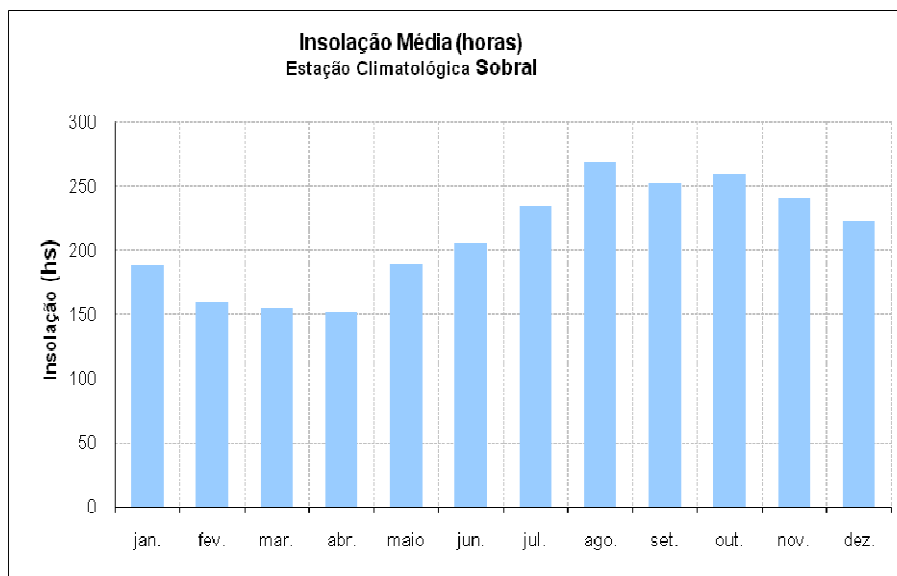


Figura 2.8 - Insolação mensal média na Área em Estudo (hs) (Fonte: Fonte: INMET (1990))

2.2.6 Velocidade dos Ventos

A insolação média anual é de 2,2 m/s, distribuída ao longo dos meses conforme **Quadro 2.8** e **Figura 2.9**.

Quadro 2.8 – Velocidade média dos ventos na Área em Estudo (m/s)

Estação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Sobral	2,34	2,07	1,78	1,54	1,44	1,62	1,88	2,31	2,86	2,88	2,90	2,74	2,20

Fonte: INMET (1990)

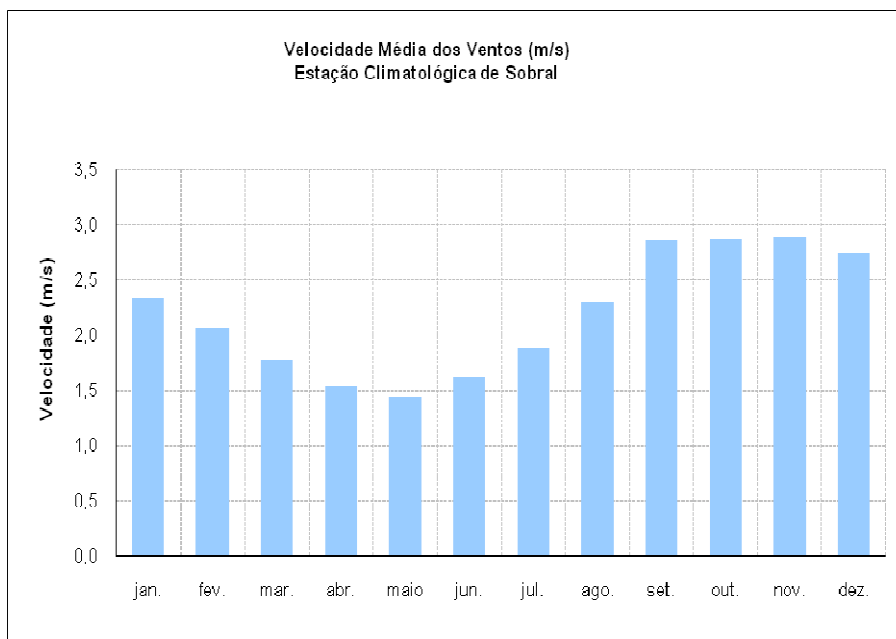


Figura 2.9 - Velocidade média dos ventos na Área em Estudo (m/s) (Fonte: Fonte: INMET (1990))

2.2.7 Regime de Chuvas

A **Figura 2.10** apresenta as isoietas da Bacia do Poti traçadas pelo Diagnóstico, dos Estudos Básicos e dos Estudos de Viabilidade do Eixo de Integração da Ibiapaba (SRH/Consortio Montgomery Watson/Engesoft, 2000). Observa-se uma alta pluviometria na porção nordeste da bacia (marcada com retângulo vermelho), justificada pela influência da Serra da Ibiapaba, com índices que chegam a mais de 1.000mm. No entanto, uma região de maior aridez, com índice inferior a 800 mm, abrange parcela significativa da região em estudo e quase toda a bacia do rio Poti.

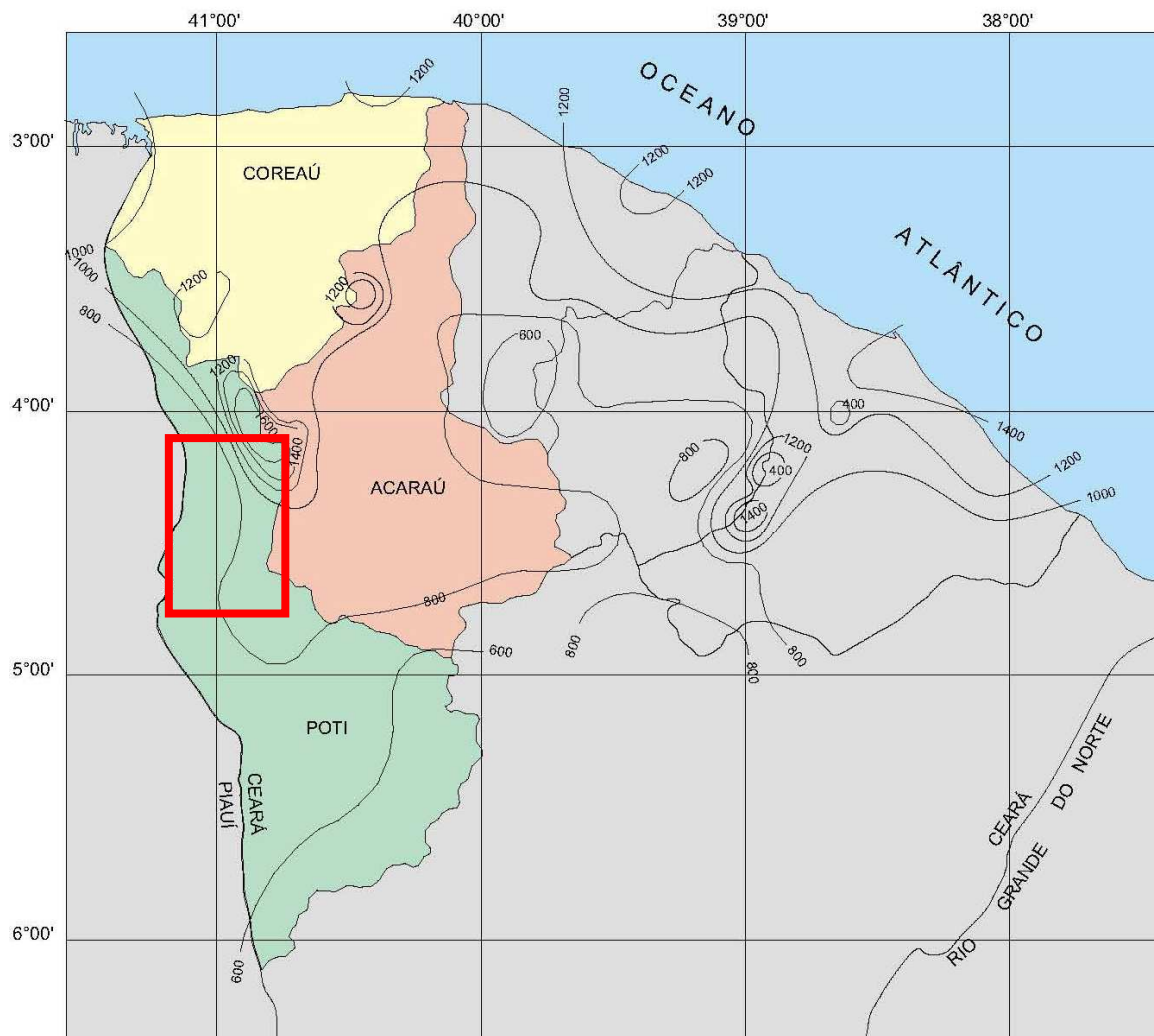


Figura 2.10 - Isoietas das bacias do Poti, Acaraú e Coreaú (retângulo em vermelho marca a área em estudo)

A consultar-se o banco de dados hidrológicos Hidroweb, da Agência Nacional de Águas, verificou-se que existem 22 postos pluviométricos nas proximidades e no interior da bacia estudada. O **Quadro 2.9** mostra a disponibilidade de dados nos postos avaliados.

Quadro 2.9 - postos pluviométricos e Extensões das séries históricas

Posto	Código	Município	Período
Ubajara	00340031	Ubajara	1912 - 2011
Poço da Areia	00341039	Ubajara	1996-2011

Cristália	00441017	Ubajara	Sem dados
Ibiapina	00340018	Ibiapina	1912-2011
Sto Antônio da Pindoba	00341014	Ibiapina	1962-1990
São Benedito	00440026	São Benedito	1912-73
São Benedito	00440030	São Benedito	1974-2011
Sítio Faveira	00440066	São Benedito	1994-2011
Carnaubal	00440004	Carnaubal	1962-2011
São José	00440072	Carnaubal	1994
Guaraciaba do Norte	00440023	Guaraciaba do Norte	1912-2011
Guaraciaba do Norte	00440024	Guaraciaba do Norte	Sem dados
Sítio Várzea Redonda	00440048	Guaraciaba do Norte	1994-2011
Correios	00440049	Guaraciaba do Norte	Sem dados
Picada	00440050	Guaraciaba do Norte	2001-2011
Limoeiro	00440051	Guaraciaba do Norte	2001-2011
Morrinhos Novos	00440074	Guaraciaba do Norte	2001-2010
Croatá	00440005	Croatá	1962-2011
Croatá	00440047	Croatá	1974-2011
Santa Tereza	00440015	Croatá	1994-2011
Gazea	00440012	Ipueiras	1962-1992
São José das Lontras	00440059	Ipueiras	1934-1962 e 2000-2010

A **Figura 2.11** apresenta o Polígono de Thiessen para a área estudada. Para se obter a série histórica de maior extensão (com um período em comum a todos os postos) optou-se por calcular o polígono de Thiessen apenas considerando três postos – Guaraciaba do Norte, Croatá e Carnaubal - todos no interior da área em estudo.

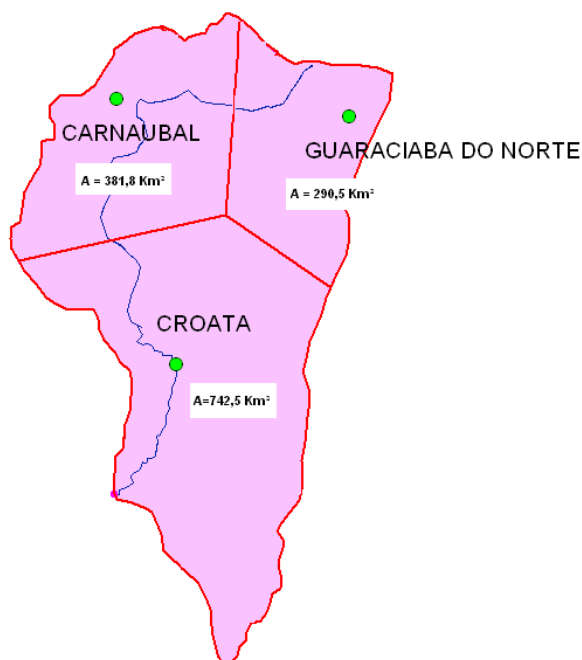


Figura 2.11 - Polígono de Thiessen da área em estudo, com as áreas de influência de cada posto.

A série histórica calculada para a área em estudo pelo Polígono de Thiessen encontra-se no **Quadro 2.10**.

Quadro 2.10 - Precipitação Média anual sobre a bacia das Barragens Inhuçu e Lontras

Ano	P (mm)	Ano	P (mm)	Ano	P (mm)
1962	895,3	1982	867,0	2002	1339,0
1963	1253,3	1983	415,8	2003	1554,0
1964	1710,0	1984	1536,4	2004	1719,5
1965	1653,9	1985	2602,2	2005	1282,0

1966	753,4	1986	1961,4	2006	1135,5
1967	1630,7	1987	1155,8	2007	924,5
1968	1476,5	1988	1428,0	2008	1531,0
1969	1253,8	1989	1627,0	2009	1827,0
1970	682,4	1990	1000,4	2010	961,5
1971	1570,3	1991	1301,4		
1972	1098,0	1992	1008,0		
1973	1881,3	1993	484,0		
1974	1809,9	1994	1779,6		
1975	1605,4	1995	1462,2		
1976	972,9	1996	1421,6		
1977	1372,9	1997	1258,6		
1978	932,9	1998	714,3		
1979	1049,6	1999	1003,9		
1980	785,3	2000	1540,8		
1981	977,8	2001	853,1		

As características dos postos pluviométricos Croatá, Guaraciaba do Norte e Carnaubal encontram-se no Quadro 2.11.

Quadro 2.11 - Características dos postos pluviométricos Croatá, Guaraciaba do Norte e Carnaubal

Município	Posto	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período	Operadora
Croatá	Croatá	00440005	4:24:59 S	40:54:15 W	820	1962 - 2010	ANA
Guaraciaba do Norte	Guaraciaba do Norte	00440023	4:11 S	40:45 W	380	1912 - 2010	FUNCEME
Carnaubal	Carnaubal	00440004	4:10 S	40:57 W	700	1962 - 2010	FUNCEME

Fonte: Banco de dados Hidroweb

A distribuição das precipitações mensais nestes postos e na bacia (Polígono de Thiessen) é mostrada no **Quadro 2.12**.

Quadro 2.12 - Precipitação média mensal dos postos pluviométricos Croatá, Guaraciaba do Norte e Carnaubal

Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
Croatá	73,4	92,9	143,3	156,4	66,9	20,5	7,2	0,4	0,0	0,8	4,8	33,1	599,70
Guaraciaba do Norte	122,8	204,5	319,5	290,4	160,2	59,4	26,6	8,5	3,2	6,4	16,1	42,0	1.259,60
Carnaubal	70,8	74,4	143,1	184,6	61,4	18,3	4,5	1,4	0,0	0,7	2,9	14,8	576,90
Bacia (Thiessen)	82,8	110,8	179,4	191,5	84,6	27,9	10,5	2,3	0,7	1,9	6,6	30,0	729,0

Fonte: Banco de dados Hidroweb

Observa-se nas **Figura 2.12** - O regime de chuvas no posto Guaraciaba do norte e **Figura 2.14** - O regime de chuvas no Posto Croatá, que o regime de chuvas nos postos em questão e na bacia em estudo é o da região norte do Nordeste. Percebe-se, pela distribuição sazonal das chuvas, que o principal sistema atuante na bacia é a *Zona de Convergência Intertropical* responsável pelas chuvas de março a maio. Em

caráter secundário, atuam os *Sistemas Frontais*, de dezembro a janeiro, e, em menor escala, as *Ondas de Leste*, responsáveis pelas chuvas de junho a agosto; os três sistemas agindo conjuntamente.

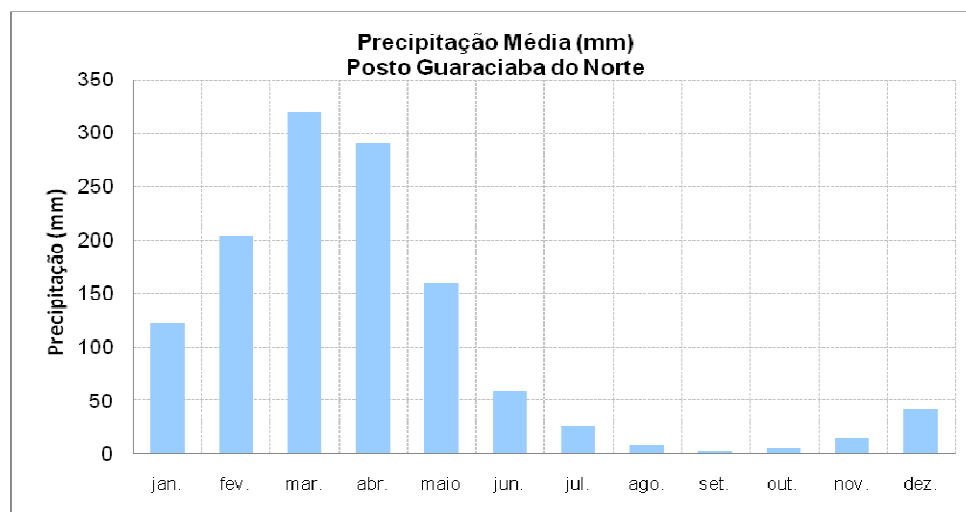


Figura 2.12 - O regime de chuvas no posto Guaraciaba do norte

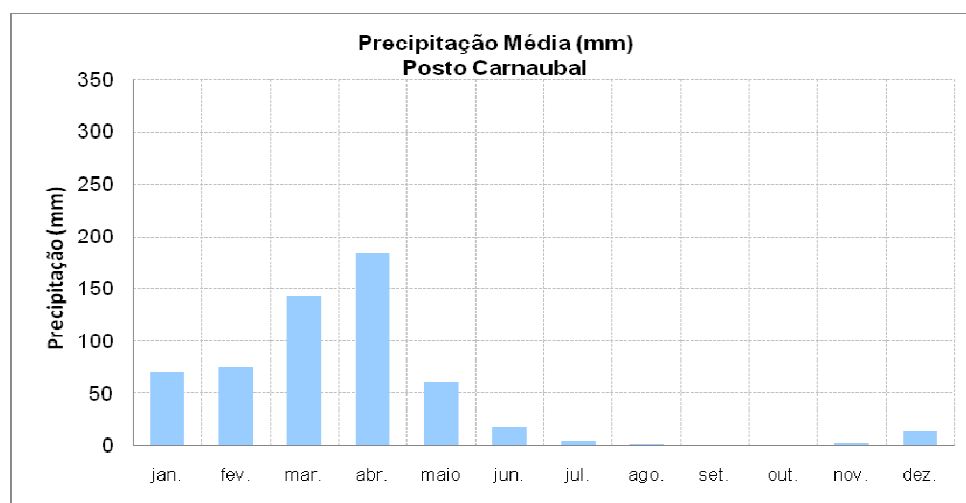


Figura 2.13 - O regime de chuvas no posto Carnaubal

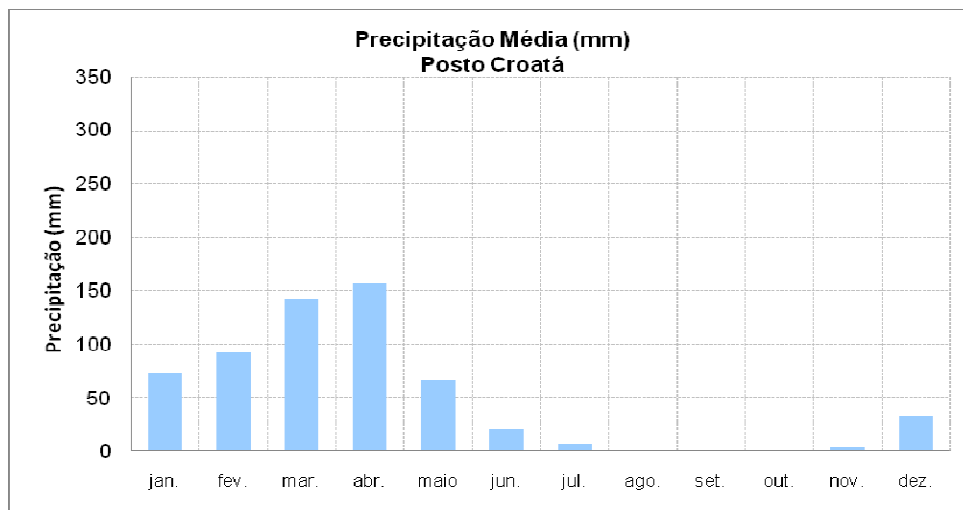


Figura 2.14 - O regime de chuvas no Posto Croatá

Embora o regime de chuvas seja o mesmo para os três postos, observa-se que nas cabeceiras da bacia (representado pelo posto Guaraciaba do Norte) chove, em termos médios, mais que o dobro do restante da bacia (representado pelos postos Carnaubal e Croatá). Os eixos das barragens situam-se na região denominada Carrasco da Ibiapaba, com médias pluviométricas inferiores as do restante do Estado do Ceará.

2.2.8 A Variabilidade Interanual das Chuvas na Bacia dos Barragens Inhuçu e Lontras

Uma característica marcante das chuvas da região Semi-Árida do Nordeste Brasileiro, região onde as bacias se inserem, é a imensa variabilidade espacial e temporal das suas chuvas. A variabilidade temporal se dá em duas escalas de tempo – a intra-anual e a interanual. No que se refere à variabilidade intra-anual ele se mostra na sazonalidade das chuvas – um período chuvoso bem definido (o ‘inverno’) e um período seco, mais longo (**Figura 2.12** a **Figura 2.14**). No que se refere à variabilidade interanual, é a maior do mundo, somente comparável ao noroeste da Austrália. Anos extremamente chuvosos e extremamente secos se intercalam de maneira tão irregular que dificulta sobremaneira a previsão do total precipitado durante a estação chuvosa.

A **Figura 2.15** mostra os totais anuais precipitados nos postos pluviométricos de Croatá e Guaraciaba do Norte, no interior da bacia. Observam-se anos **extremamente secos** como **1919** (284,7mm em Guaraciaba do Norte) e **1983** (415,8 em Guaraciaba do Norte e 168,1 em Croatá) e **extremamente chuvosos**

como **1929** e **1924** (3.186,1mm e 2.392,9, respectivamente, em Guaraciaba do Norte) e **1985** (2.602,0mm em Guaraciaba do Norte e 1.116,8mm em Croatá) na série histórica.

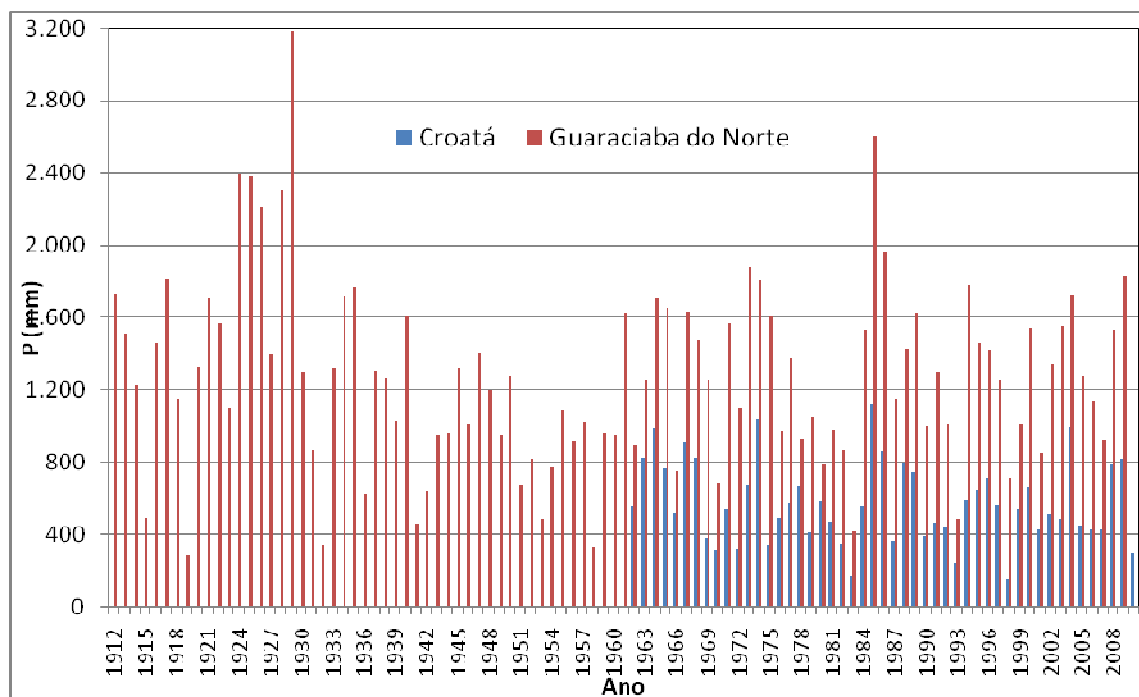


Figura 2.15 - Precipitações anuais nos postos pluviométricos Croatá e Guaraciaba do Norte

3 CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BARRAGENS INHUÇU E LONTRAS

3. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BARRAGENS INHUÇU E LONTRAS

A curva cota x volume da Barragem Inhuçu e do Barragem Lontras encontram-se nos **Quadro 3.1** e

Quadro 3.2 e **Figura 3.1** e **Figura 3.2**.

Quadro 3.1 - Curva Cota (m) x Volume (hm³) da Barragem Lontras

Cota (m)	Volume (hm ³)
485	3.754
490	467.630
495	3.900.517
500	12.549.362
505	27.749.477
510	50.745.635
515	81.927.071
520	123.849.402
525	179.859.840
530	253.377.371
535*	347.125.971
540	463.326.503

Quadro 3.2 - Curva Cota (m) x Volume (hm³) da Barragem Inhuçu

Cota(m)	Volume
564	0.007
565	0.029
570	0.41
575	1.64
580	4.21
585	8.42
590	14.92
595	24.4
600	37.68
601*	40.8
605	55.1
610	78.60

(*) Cota do vertedouro

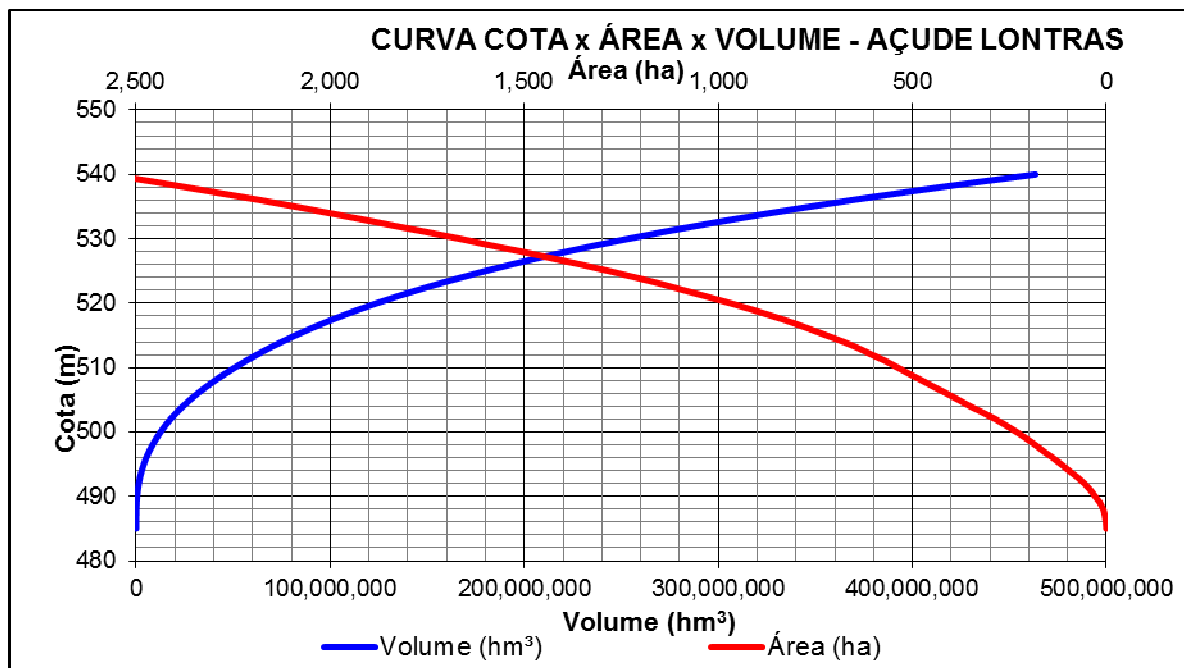


Figura 3.1 - Curva Cota (m) x Volume (hm3) do Barragem Lontras

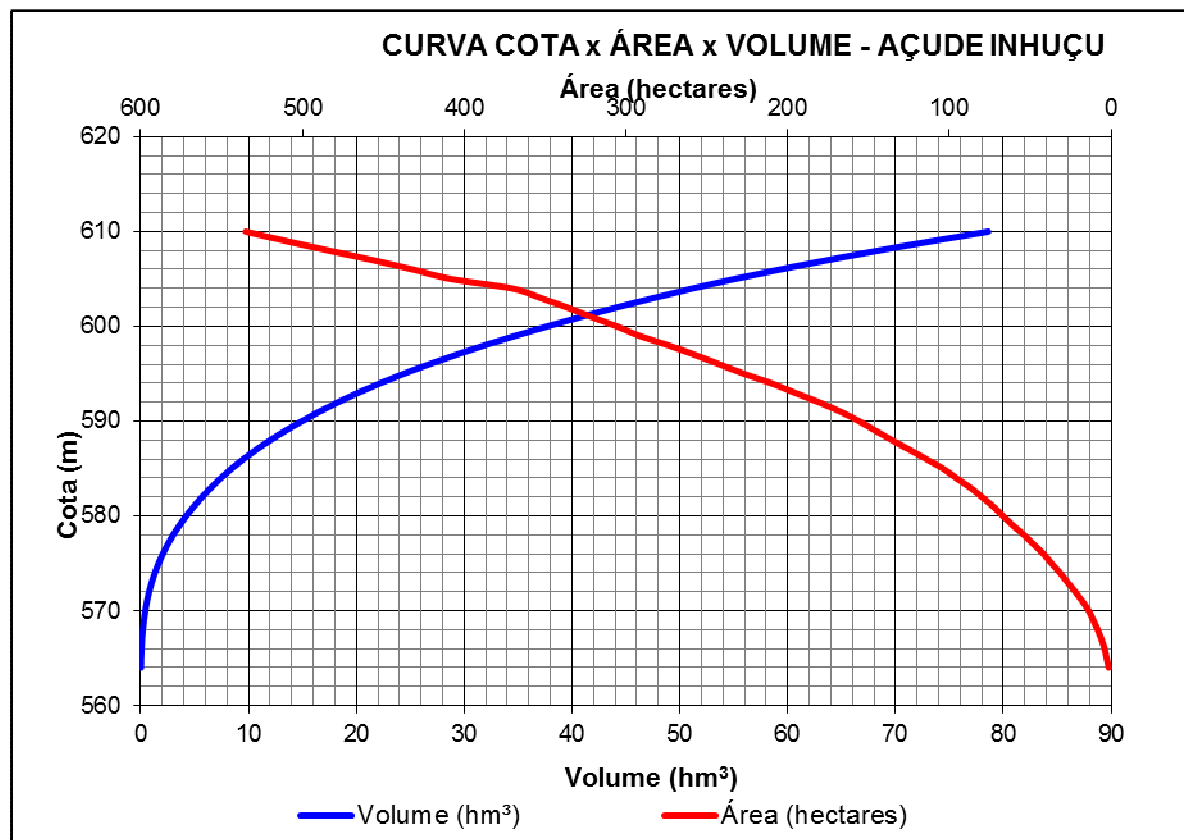


Figura 3.2 - Curva Cota (m) x Volume (hm3) da Barragem Inhuçu

4 O REGIME DE CHUVAS INTENSAS NAS BACIAS DAS BARRAGENS INHUÇU E LONTRAS

4. O REGIME DE CHUVAS INTENSAS NAS BACIAS DAS BARRAGENS INHUÇU E LONTRAS

O presente capítulo tem como objetivo principal a determinação das chuvas intensas, com períodos de retorno iguais a 1.000 e 10.000 anos, sobre a área drenagem das Barragens Inhuçu e Lontras. A metodologia utilizada é a das Isozonas (Torricco, 1975). São estimadas ainda as precipitações máximas espaciais com duração de 1 dia sobre as bacias.

No Capítulo 7 serão calculadas as cheias máximas afluentes aos barramentos em questão, em diferentes cenários: Cenário A (Inhuçu isolado), Cenário B (Lontras sem Inhuçu a sua montante) e Cenário C (Lontras com Inhuçu a sua montante). Os eixos das barragens situam-se na região denominada Carrasco da Ibiapaba, com baixas pluviosidades; entretanto suas nascentes se localizam em altitudes elevadas com precipitações mais que o dobro do restante da bacia. Nos cenários A e B, utilizar-se-á o posto Guaraciaba do Norte como característico da área de cada bacia, já que as chuvas ocorridas nas nascentes afluem para os barramentos em questão. No Cenário C (barramentos em série), utilizar-se-á o posto Guaraciaba do Norte para o barramento de montante (Inhuçu), e Croatá para a área livre do barramento de jusante (Lontras), já que as maiores precipitações ficarão retidas no primeiro barramento.

4.1 DETERMINAÇÃO DA DURAÇÃO DA CHUVA CRÍTICA

Estudos mostram que as chuvas com duração próxima ao tempo de concentração da bacia fornecem os maiores picos de enchentes para um determinado período de retorno. Esse tempo, definido como aquele em que toda a bacia esteja contribuindo para a vazão de uma dada seção do rio, caracteriza a forma do Hidrograma Unitário e, conseqüentemente, é fator importante na conformação e na descarga máxima da enchente de projeto.

Existem inúmeras fórmulas empíricas para o cálculo do tempo de concentração. Uma das mais utilizadas é a de Kirpich, publicada no “California Culverts Practice”:

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (4.1)$$

Onde:

t_c = tempo de concentração, em minutos;

L = comprimento do curso d'água, em quilômetros, e

H = desnível máximo ao longo de L, em metros.

As características da bacia hidrográfica dos Barragens Lontras e Inhuçu, e seus respectivos tempos de concentração, se encontram no **Quadro 4.1**.

Quadro 4.1 – Características das bacias hidrográficas das Barragens Lontras e Inhuçu

Bacia Hidrográfica	A (km ²)	L (km)	ΔH (m)	t_c (h)
Inhuçu	847,0	50	320	9,45
Lontras (sem Inhuçu a montante)	1.414,0	75	400	13,8
Lontras (área livre a jusante de Inhuçu)	567,0	25	80	7,24

4.2 OS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS POTENCIALMENTE UTILIZÁVEIS

Na área de estudo não existem postos pluviográficos para avaliação direta das chuvas intensas. Quanto a postos pluviométricos, há registros da existência de 22 situados nas imediações, já descritos no Capítulo 2. Alguns postos estão desativados; os ativos têm uma série histórica pequena ou com muitas falhas. Os de maiores extensão estão contidos no **Quadro 4.2**. Destes, três têm influência na bacia, conforme o polígono de Thiessen em capítulo anterior.

Quadro 4.2 - Postos pluviométricos e Extensões das séries históricas

Posto	Período
Ubajara	1912 - 2011
Ibiapina	1912 - 2011
Carnaubal	1962 - 2011
Guaraciaba do Norte	1912 - 2011

Croatá	1962 - 2011
--------	-------------

Selecionaram-se para o estudo de chuvas intensas, os postos de Ubajara, Ibiapina e Guaraciaba do Norte (por suas maiores pluviosidades) e o posto de Croatá (por ter menos falhas que Carnaubal).

4.3 METODOLOGIA PARA CÁLCULO DAS CHUVAS INTENSAS

Como alternativa ao método clássico dos pluviogramas, tem-se o **Método das Isozonas** (Torricco, 1975). Este método utiliza dados de chuvas diárias e, através de um processo de desagregação, transforma para cada período de retorno, a chuva de 1 dia de duração, em chuvas de duração variando de 6 minutos a 24 horas.

O método tem por base o uso de "Isozonas", determinadas por Torricco, nas quais as relações entre as alturas de chuva de 1 hora e 24 horas e 6 minutos e 24 horas são constantes para um dado período de retorno (**Figura 4.1**).

A metodologia empregada obedece a sequência descrita a seguir:

Selecionar o posto pluviométrico;

Selecionar, para cada ano, o valor da precipitação máxima diária e formar a série de máximos anuais;

Ajustar a série de máximos anuais a uma ou mais distribuições de probabilidade e executar, para cada uma delas, o teste do qui-quadrado para verificar a qualidade do ajustamento;

Selecionar uma distribuição de probabilidades e estimar, para os períodos de retorno desejados, a chuva intensa de um dia de duração;

Transformar a chuva de um dia em chuva de 24 horas de duração através da relação:

$$P_{24h} = 1,1 P_{1dia} \quad (4.2)$$

Localizar a isozona do posto estudado e extrair do Quadro os valores das relações entre a chuva de 24 horas e as chuvas de 1 hora e de 6 minutos, para os períodos de retorno em estudo;

Calcular a chuva de 6 minutos hora de duração, através da multiplicação pelo fator R'

$$P_{6 \text{ min}} = R'. P_{24h} \quad (4.3)$$

Calcular a chuva de 1 hora de duração, através da multiplicação pelo fator R

$$P_{1h} = R. P_{24h} \quad (4.4)$$

Conversão da chuva pontual em chuva espacial para toda a região pela equação:

$$P_A = P_0 \cdot (1 - W \cdot \log(\frac{A}{A_0})) \quad (4.5)$$

onde:

W = parâmetro regional;

P_A = Precipitação sobre toda a área;

P₀ = Chuva pontual;

A = Área em estudo;

A₀ = 25 km² (área base para chuva pontual)

Colocar em gráficos em papel probabilístico próprio, os valores P_{24h} e P_{1h} e P_{24h} e P_{6min} e ligá-los através de uma reta para obtenção de chuvas de durações intermediárias.

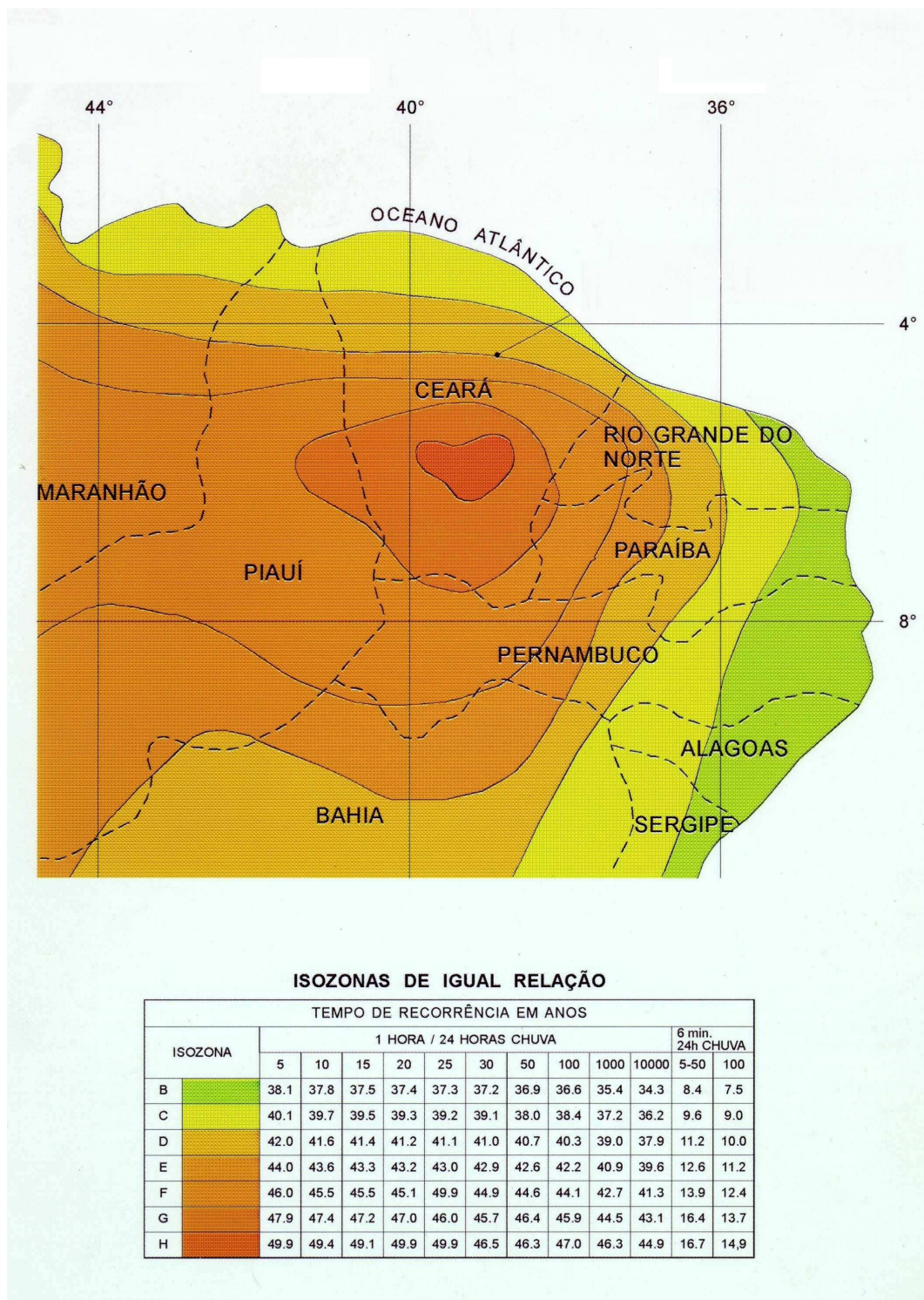


Figura 4.1 - Isozonas de igual relação (Fonte: Torrico, 1975)

4.3.1 Seleção da distribuição de probabilidades e estimativas dos valores das precipitações máximas anuais

Os dados diários de precipitação dos postos selecionados foram extraídos do banco de dados HIDROWEB da Agência Nacional de Águas. Calcularam-se, para cada ano, as chuvas máximas com duração de 1 dia. Para a série de chuvas máximas anuais foram testados, através do software EXVAL, os ajustamentos a várias distribuições de probabilidades. Os resultados, para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, utilizando-se a distribuições de probabilidades Pearson Tipo II (Gama 2 parâmetros), que mostrou um excelente grau de ajustamento, encontram-se no **Quadro 4.3**.

Quadro 4.3 - Precipitações máximas (mm) em Guaraciaba do Norte, Ibiapina, Ubajara e Croatá com durações de 1 dia para períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos, seguindo a distribuição Pearson Tipo III

	Tr = 1.000 anos	Tr = 10.000 anos
Guaraciaba do Norte	216,7	259,6
Ibiapina	214,1	251,9
Ubajara	211,4	260,6
Croatá	152,9	181,4

Observa-se que os valores das precipitações máximas diárias nos postos Guaraciaba do Norte, Ibiapina e Ubajara, estimados pela distribuição de probabilidades Pearson Tipo III, são praticamente iguais. Adotou-se, portanto, as precipitações dos postos de Guaraciaba do Norte e Croatá para o estudo de chuvas intensas. O primeiro será utilizados para estimar as chuvas intensas na bacia do Inhuçu e Lontras (ambos isolados) e Croatá, para as chuvas intensas sobre a área livre da bacia do Lontras, tendo Inhuçu a sua montante.

4.3.2 Características das Séries de Chuvas Máximas com 1 dia de Duração

Foram estimadas as principais estatísticas que caracterizam o regime de chuvas (**Quadro 4.4**).

Quadro 4.4 - Estatísticas básicas da série de precipitações máximas com duração de 1 dia para os postos pluviométricos Guaraciaba do Norte e Croatá

Características da Precipitação	Croatá	Guaraciaba do Norte
Média (mm)	64,6	86,2
Desvio Padrão (mm)	20,8	29,2
Coefficiente de Variação	0,32	0,34
Valor Máximo Observado (mm)	117,4	167,0
Valor Mínimo Observado (mm)	30,0	32,0

O **Quadro 4.4** ressalta mais uma vez a enorme variabilidade interanual das precipitações e a necessidade de se usar séries as mais extensas possíveis, na região. Na série de máximos de Croatá, os valores variam de 20,8 mm a 64,6 mm. Em Guaraciaba do Norte, de 29,2 a 86,2 mm.

4.3.3 Chuvas máximas com durações de 24 horas

As chuvas virtuais de 24 horas de duração, contidas no **Quadro 4.5**, foram obtidas multiplicando-se as precipitações contidas no **Quadro 4.3** (postos Guaraciaba do Norte e Croatá) pelo fator 1,10 (para $P_{1\text{dia}}$):

$$P_{24h} = 1,1P_{1\text{dia}} \quad (4.6)$$

Quadro 4.5 - Precipitações máximas para $T_r = 1.000$ e 10.000 anos com duração de 24 horas (em milímetros) nos postos Croatá e Guaraciaba do Norte

T_r	Croatá P_{24h}	Guar. Norte P_{24h}
1.000 anos	168,18	238,35
10.000 anos	199,54	285,52

4.3.4 Chuvas Máximas com Duração de 1 hora

As precipitações intensas pontuais de 1 hora de duração nos postos Guaraciaba do Norte e Croatá para os períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos foram obtidas multiplicando-se a chuva pontual de 24 horas (**Quadro 4.5**) pelo fator R:

$$P_{1h} = R.P_{24h} \quad (4.7)$$

Os valores de R, para cada período de retorno, foram extraídos do Quadro contido na **Figura 4.1** e os resultados encontram-se no **Quadro 4.6**. A Isozona considerada foi a **D**. Os valores das chuvas pontuais de 1 hora e 24 horas de duração referem-se a uma área de 25 km².

Quadro 4.6 - Precipitações máximas intensas com duração de 1 hora e 24 horas (mm) associadas aos períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos nos postos Croatá e Guaraciaba do Norte

Tr	R (Isozona D)	Croatá		Guaraciaba do Norte	
		P _{24h}	P _{1h}	P _{24h}	P _{1h}
1.000 anos	0,39	168,18	65,59	238,35	92,96
10.000 anos	0,39	199,54	77,82	285,52	111,35

4.3.5 Conversão da chuva pontual em chuva espacial

A conversão de chuva pontual para chuva espacial, sob toda a área de interesse é feita pela equação 4.5, já apresentada anteriormente.

$$P_A = P_0 \cdot (1 - W \cdot \log(\frac{A}{A_0}))$$

Onde: w = parâmetro regional; P_A = precipitação sobre toda a área; P₀ = chuva pontual; A = área em estudo e A₀ = 25 km² (área base para chuva pontual). Os resultados para chuvas de 1 hora e 24 horas estão expostos no **Quadro 4.7**.

No que tange o parâmetro **w**, normalmente adotado como sendo **0,22** em projetos hidrológicos na Região Nordeste, Meneses Filho (1991) alerta que seu valor é específico para cada duração de chuva, indicando, para duração de 1 a 6 dias, os

valores 0,16, 0,12, 0,11 0,09, 0,08 e 0,07, respectivamente. Segundo o autor, a adoção do valor 0,22 conduziria a uma “superestimativa” da redução espacial da chuva, ou seja, a computarem-se menores valores de precipitação média superficial.

Os **Quadro 4.7** a

Quadro 4.9 mostram as chuvas espaciais sobre a bacia do Inhuçu, Lontras (sem barramentos a montante) e Lontras (área livre, com Inhuçu a sua montante), nesta ordem.

Quadro 4.7 - - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km² e precipitação em milímetros) sobre a Bacia do Barragem Inhuçu (posto Guaraciaba do Norte)

Tr	P _{o 24h}	P _{o 1h}	A	A/A ₀	w	$r = 1 - w \cdot \log(A/A_0)$	P _{A 24h} =r.P _{o 24h}	P _{A 1h} =r.P _{o 1h}
1.000	238,35	92,96	847,00	33,88	0,16	0,76	180,00	70,20
10.000	285,52	111,35	847,00	33,88	0,16	0,76	215,62	84,09

Quadro 4.8 - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km² e precipitação em milímetros) sobre a Bacia do Barragem Lontras (sem Barragem Inhuçu a montante) (posto Guaraciaba do Norte)

Tr	P _{o 24h}	P _{o 1h}	A	A/A ₀	w	$r = 1 - w \cdot \log(A/A_0)$	P _{A 24h} =r.P _{o 24h}	P _{A 1h} =r.P _{o 1h}
1.000	238,35	92,96	1.414,00	56,56	0,16	0,72	171,51	66,89
10.000	285,52	111,35	1.414,00	56,56	0,16	0,72	205,46	80,13

Quadro 4.9 - Transformação da chuva máxima e intensa pontual em espacial com durações de 1 hora e 24 horas (valores de área em km² e precipitação em milímetros) sobre a área livre Bacia do Barragem Lontras (Com Barragem Inhuçu a montante) (posto Croatá)

Tr	P _{o 24h}	P _{o 1h}	A	A/A ₀	w	$r = 1 - w \cdot \log(A/A_0)$	P _{A 24h} =r.P _{o 24h}	P _{A 1h} =r.P _{o 1h}
1.000	168,18	65,59	567,00	22,68	0,16	0,78	131,70	51,36
10.000	199,54	77,82	567,00	22,68	0,16	0,78	156,26	60,94

As chuvas intensas espaciais de durações entre 1 e 24 horas podem ser observadas nas **Figura 4.2** a **Figura 4.4**, respectivamente, para a bacia do Inhuçu, Lontras (sem Inhuçu a montante) e Lontras (área livre, com Inhuçu a sua montante).

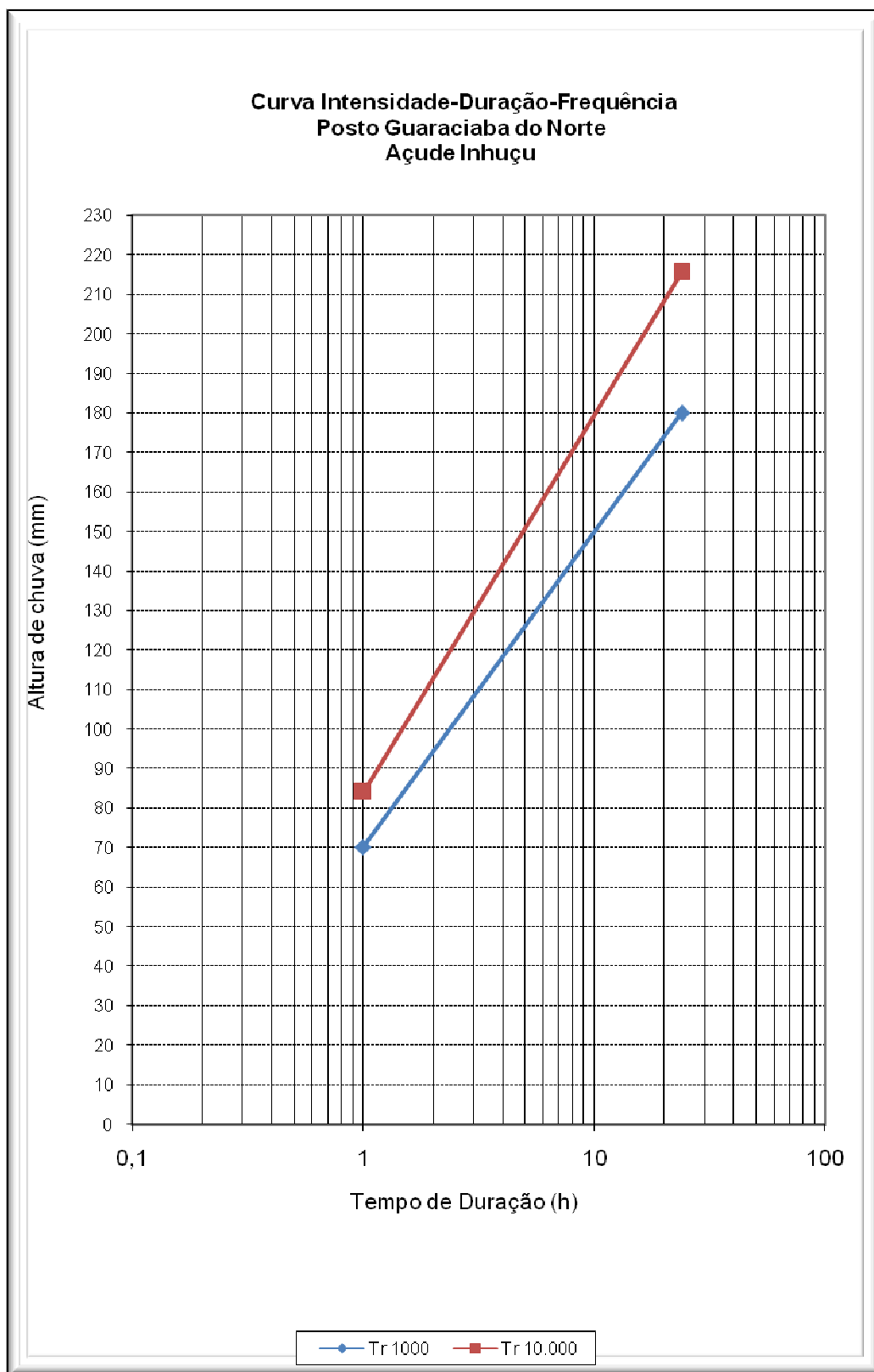


Figura 4.2 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Barragem Inhuçu com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Guaraciaba do Norte.

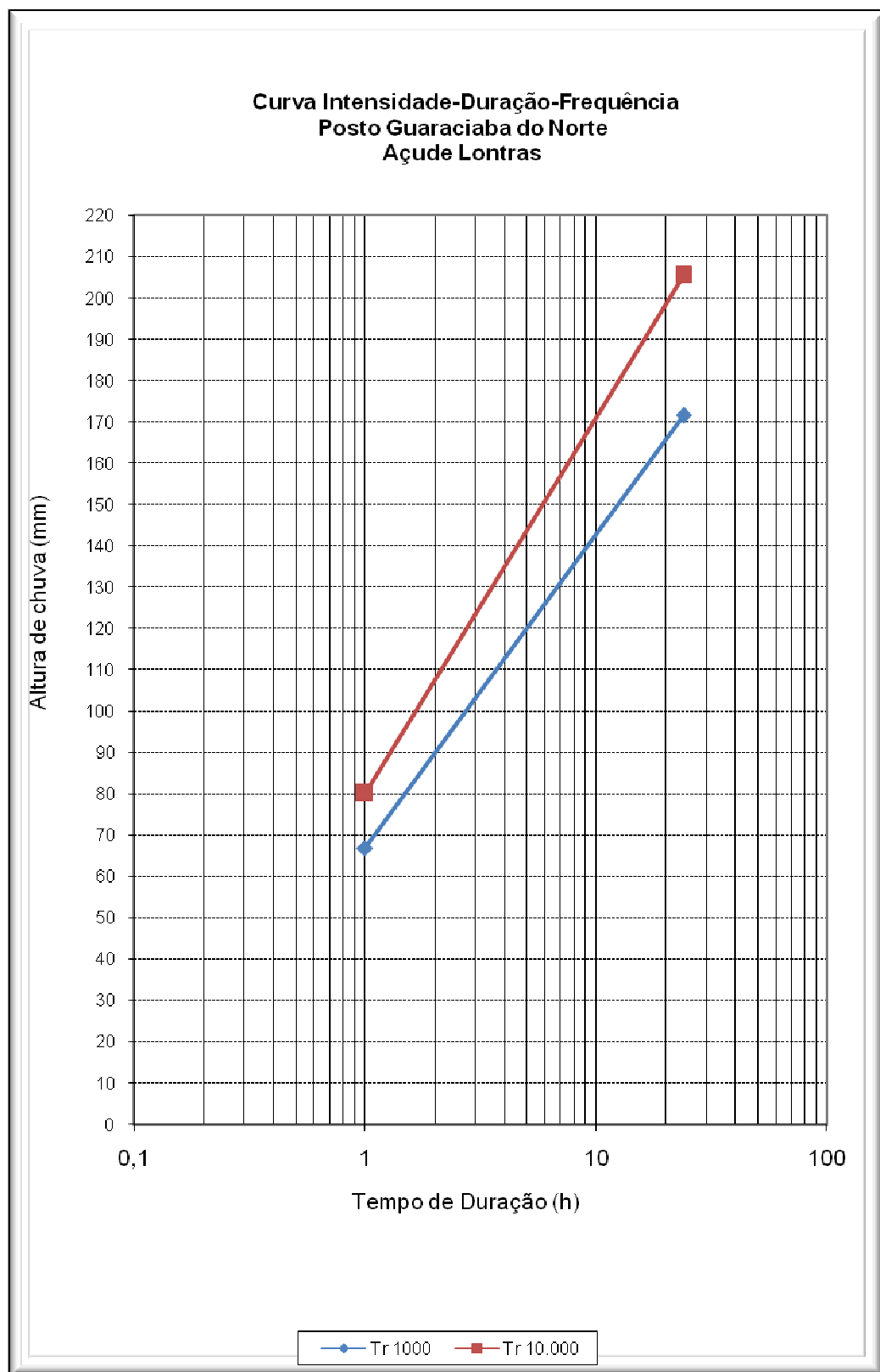


Figura 4.3 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Barragem Lontras com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Guaraciaba do Norte.

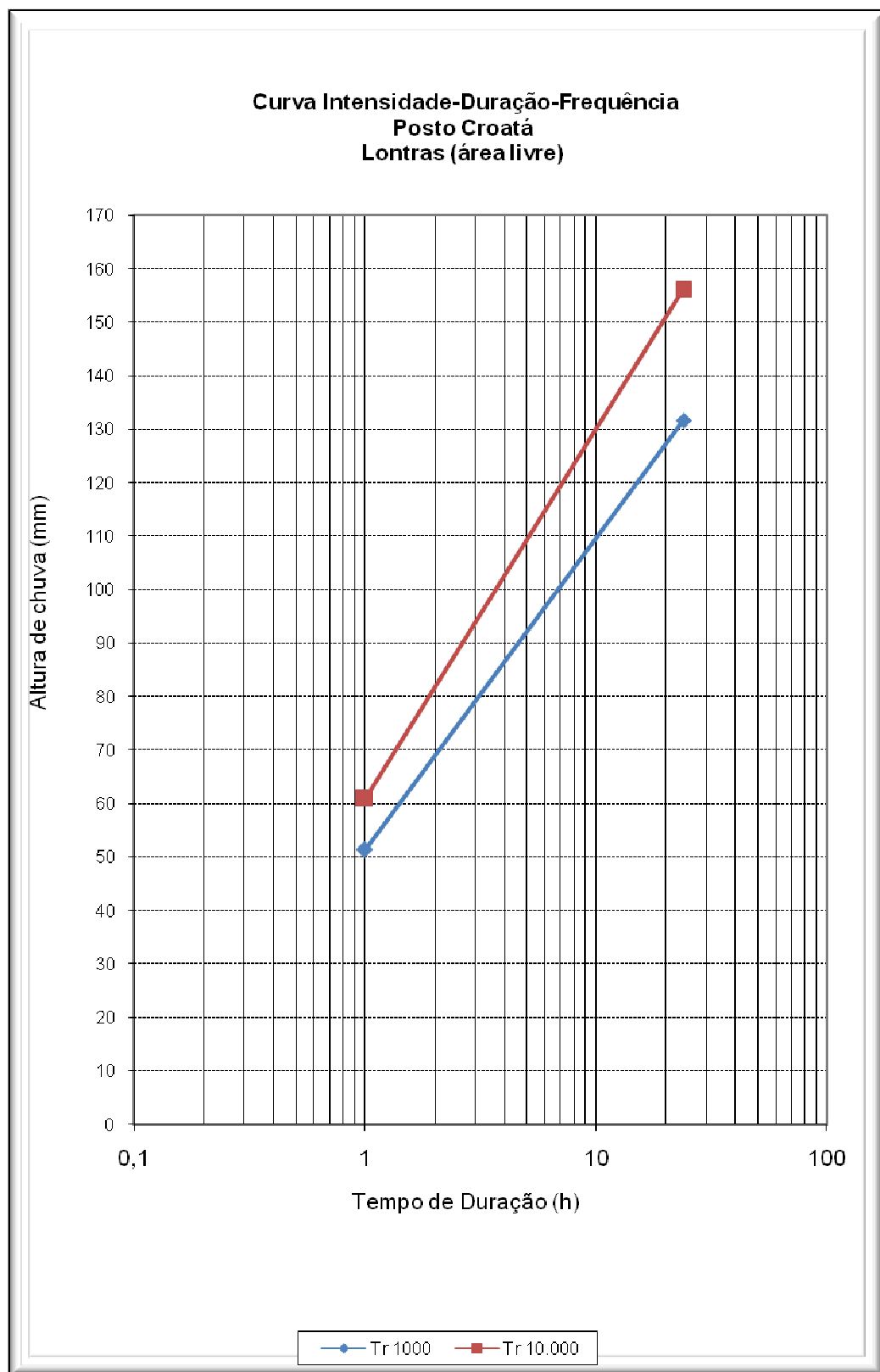


Figura 4.4 - Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Barragem Lontras (Área Livre a jusante do Barragem Inhuçu) com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Croatá.

Para o desenvolvimento da cheia de projeto em capítulo posterior, dois parâmetros devem ser inicialmente estimados: a duração da chuva e o intervalo de tempo para cada incremento de chuva. A duração da chuva deve ser, no mínimo, igual ao tempo de concentração da bacia, mas, preferencialmente, mais longa. Uma duração mais longa reflete melhor as condições reais onde, normalmente, uma chuva crítica acontece inserida em uma chuva de maior duração.

Assim sendo, embora os tempos de concentração das bacias da Barragem Inhuçu, Lontras (sem barramentos a montante) e Lontras (área livre, com Inhuçu a sua montante), sejam iguais a 9,4 horas, 13,8 horas e 7,2 horas, respectivamente, serão determinadas as suas distribuições acumuladas de chuva ao longo de o dobro de t_c , considerando $Tr = 1.000$ e 10.000 anos (**Quadro 4.10**).

Quadro 4.10 - Distribuição acumulada da chuva sobre as bacias das Barragens Lontras e Inhuçu, a cada intervalo de 1 hora

Duração da Chuva (horas)	Inhuçu		Lontras		Lontras	
	Tr = 1.000	Tr = 10.000	Tr = 1.000	Tr = 10.000	Tr = 1.000	Tr = 10.000
1	70,20	84,09	66,89	80,13	51,36	60,94
2	93,00	111,00	90,00	109,00	69,00	81,00
3	109,00	130,00	102,00	122,00	80,00	93,00
4	119,00	140,00	112,00	135,00	86,00	102,00
5	126,00	150,00	120,00	143,00	92,00	110,00
6	130,00	160,00	126,00	150,00	97,00	115,00
7	138,00	164,00	130,00	158,00	100,00	120,00
8	141,00	170,00	135,00	162,00	104,00	123,00
9	146,00	175,00	140,00	168,00	107,00	127,00
10	150,00	180,00	142,00	170,00	110,00	130,00
11	152,14	182,54	144,11	172,53	111,55	131,88
12	154,29	185,09	146,22	175,07	113,10	133,75
13	156,43	187,63	148,32	177,60	114,65	135,63
14	158,57	190,18	150,43	180,13	116,20	137,50
15	160,72	192,72	152,54	182,66	117,75	139,38
16	162,86	195,27	154,65	185,20	119,30	141,25

17	165,00	197,81	156,76	187,73	120,85	143,13
18	167,14	200,36	158,87	190,26	122,40	145,01
19	169,29	202,90	160,97	192,79	123,95	146,88
20	171,43	205,45	163,08	195,33	125,50	148,76
21	173,57	207,99	165,19	197,86	127,05	150,63
22	175,72	210,54	167,30	200,39	128,60	152,51
23	177,86	213,08	169,41	202,92	130,15	154,38
24	180,00	215,62	171,51	205,46	131,70	156,26

Pelo **Quadro 4.10**, observa-se que as chuvas críticas para a bacia da Barragem Inhuçu ($t_c = 9$ hs) para T_r de 1.000 e 10.000 anos são, respectivamente, 146 e 175 mm. Para a bacia da Barragem Lontras (sem barramentos a montante) ($t_c = 14$ hs), estes valores são 150,4 e 180,1mm. Já para a área livre da Barragem Lontras (retirando a área controlada pela Barragem Inhuçu) ($t_c = 7$ hs), os valores encontrados são 100 e 120mm.

5 O REGIME FLUVIAL DO RIO INHUÇU NAS BARRAGENS INHUÇU E LONTRAS

5. O REGIME FLUVIAL DO RIO INHUÇU NAS BARRAGENS INHUÇU E LONTRAS

O presente capítulo pretende identificar os dados fluviométricos disponíveis nas seções de controle, consolidar estes dados e caracterizar o regime fluvial do Rio Inhuçu no sítio das barragens Inhuçu e Lontras.

5.1 DADOS FLUVIOMÉTRICOS DISPONÍVEIS

A fonte de dados fluviométricos é o Banco de dados HIDROWEB da Agência Nacional de Águas; a bacia está localizada em “Bacias do Atlântico Norte-Nordeste - Sub-Bacia 34”. Observa-se a existência de um posto fluviométrico no mesmo rio a ser barrado – o posto Croatá – cujas principais características são apresentadas no **Quadro 5.1**.

Quadro 5.1 - Características do Posto Fluviométrico Croatá

Código	Nome	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Área (km ²)	Operando
34730000	Croatá	Croatá	4°24'56”	40°54'39”	580	1.030,00	sim

Fonte: HIDROWEB (banco de dados eletrônico)

A bacia de drenagem do Posto Fluviométrico Croatá inclui a da barragem Inhuçu; a barragem Lontras situa-se à jusante do posto, no mesmo rio. Sendo assim, as séries *históricas* afluentes aos dois barramentos serão determinadas utilizando-se os dados do Posto Fluviométrico Croatá, corrigidas pela relação entre as áreas (**Quadro 5.2**).

Quadro 5.2 - Características das séries afluentes ao posto fluviométrico Croatá e aos Barragens Lontras e Inhuçu

	Est. Fluviométrica Croatá	Barragem Lontras	Barragem Inhuçu
Área (km ²)	1.030 km ²	1.414 km ²	847 km ²
Vazão Média	3,77 m ³ /s	5,26m ³ /s	3,14m ³ /s
CV	0,9	0,9	0,9
Extensão da Série	1963 – 2006	1963 – 2006	1963 – 2006

O **Quadro 5.3** apresenta a série histórica – efetivamente medida – no Posto Fluviométrico Croatá. Os

Quadro 5.4 e Quadro 5.5 apresentam as séries afluentes às barragens Lontras e Inhuçu, corrigidas pelas relações entre suas áreas de drenagem e a do posto Croatá.

Quadro 5.3 - Série Histórica de Vazões (m³/s) no Posto Fluviométrico Croatá (Hidroweb – ANA)

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Ano
1963	2,05	2,15	10,06	12,75	4,34	2,02	1,29	0,83	0,52	0,33	0,27	0,58	3,10
1965	1,18	1,53	3,89	20,62	15,39	11,02	8,73	8,03	7,69	8,02	7,33	7,09	8,38
1966	6,66	7,29	4,58	4,19	2,39	1,98	1,33	0,76	0,47	0,31	0,00	0,00	2,50
1967	0,32	1,75	8,74	18,57	17,74	7,95	6,01	4,99	4,07	3,23	2,17	1,97	6,46
1968	2,45	2,26	8,17	7,36	7,79	4,11	2,70	1,76	1,26	0,96	0,84	1,39	3,42
1969	1,66	1,91	3,05	4,91	3,24	2,33	2,45	1,43	0,80	0,61	0,49	0,42	1,94
1970	0,62	0,57	2,13	2,39	1,48	0,79	0,55	0,37	0,23	0,00	0,23	0,07	0,79
1971	0,49	1,04	2,02	5,22	4,53	3,90	2,14	1,21	0,62	0,36	0,30	0,25	1,84
1972	0,39	0,97	2,06	2,59	2,50	1,32	0,62	0,38	0,25	0,00	0,00	0,07	0,93
1973	1,25	2,28	5,25	7,00	11,99	5,11	3,14	1,76	1,18	0,97	0,54	0,55	3,42
1974	2,18	3,80	8,65	35,69	42,29	38,61	34,81	20,67	8,76	7,02	5,62	5,25	17,78
1975	5,09	3,34	17,92	8,79	9,95	7,93	5,64	4,02	3,76	2,39	2,03	3,36	6,19
1976	1,98	5,66	5,69	8,64	4,36	3,43	2,34	1,80	1,52	1,39	1,40	1,15	3,28
1987	1,73	1,85	9,68	7,37	3,61	3,53	1,70	0,72	0,38	0,32	0,14	0,00	2,59
1989	3,12	3,02	5,41	16,42	14,58	6,68	7,12	3,42	2,21	1,45	0,91	2,42	5,56
1990	1,77	2,65	6,86	4,90	5,29	2,97	1,62	0,75	0,33	0,17	0,03	0,53	2,32
1992	0,88	3,75	3,88	4,98	1,59	0,84	0,46	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	1,38
1995	0,09	3,09	8,29	12,82	12,22	4,03	2,61	1,20	0,60	0,32	0,29	0,15	3,81
1996	0,85	1,23	5,19	9,02	7,50	4,00	2,50	2,07	0,75	0,41	0,63	0,32	2,87
1998	0,79	0,87	0,84	1,31	0,68	1,20	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,49
2000	0,90	4,30	5,77	8,34	4,55	2,70	1,23	2,35	6,39	4,03	0,01	0,00	3,38
2001	0,02	0,11	0,90	7,10	3,38	3,46	6,60	6,25	2,95	0,00	0,00	0,00	2,56
2002	1,37	1,17	4,27	6,43	4,89	3,11	6,14	6,26	4,82	0,80	0,00	0,00	3,27
2003	0,00	3,18	9,00	8,69	5,79	3,28	6,20	6,70	6,28	2,74	0,00	0,00	4,32
2004	6,02	10,01	9,17	7,67	7,20	6,11	4,66	3,27	6,82	6,48	6,09	5,86	6,61
2005	0,72	0,83	3,21	4,13	3,16	1,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,15
2006	0,00	0,38	4,17	6,04	5,39	1,36	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,49
Média	1,65	2,63	5,88	9,03	7,70	5,02	4,20	3,01	2,32	1,57	1,09	1,16	3,77

Quadro 5.4 - Série de Vazões afluentes ao Barragem Lontras, em hm³/ano

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Ano
1963	7,5	7,1	36,9	45,3	15,9	7,2	4,7	3,0	1,8	1,2	1,0	2,1	133,9
1965	4,3	5,1	14,3	73,3	56,4	39,2	32,0	29,4	27,3	29,4	26,1	26,0	362,8
1966	24,4	24,2	16,8	14,9	8,8	7,0	4,9	2,8	1,7	1,1	0,0	0,0	106,6
1967	1,2	5,8	32,0	66,0	65,0	28,3	22,0	18,3	14,5	11,8	7,7	7,2	279,9
1968	9,0	7,5	29,9	26,2	28,6	14,6	9,9	6,5	4,5	3,5	3,0	5,1	148,2
1969	6,1	6,3	11,2	17,5	11,9	8,3	9,0	5,2	2,8	2,2	1,7	1,5	83,8
1970	2,3	1,9	7,8	8,5	5,4	2,8	2,0	1,4	0,8	0,0	0,8	0,3	34,0
1971	1,8	3,5	7,4	18,6	16,6	13,9	7,8	4,4	2,2	1,3	1,1	0,9	79,5
1972	1,4	3,2	7,6	9,2	9,2	4,7	2,3	1,4	0,9	0,0	0,0	0,3	40,1
1973	4,6	7,6	19,2	24,9	43,9	18,2	11,5	6,5	4,2	3,6	1,9	2,0	148,1
1974	8,0	12,6	31,7	126,9	155,0	137,3	127,6	75,8	31,1	25,7	20,0	19,2	771,0
1975	18,7	11,1	65,7	31,3	36,5	28,2	20,7	14,7	13,4	8,8	7,2	12,3	268,4
1976	7,3	18,8	20,9	30,7	16,0	12,2	8,6	6,6	5,4	5,1	5,0	4,2	140,7
1987	6,3	6,1	35,5	26,2	13,2	12,6	6,2	2,6	1,4	1,2	0,5	0,0	111,8
1989	11,4	10,0	19,8	58,4	53,4	23,8	26,1	12,5	7,9	5,3	3,2	8,9	240,8
1990	6,5	8,8	25,1	17,4	19,4	10,6	5,9	2,7	1,2	0,6	0,1	1,9	100,3
1992	3,2	12,5	14,2	17,7	5,8	3,0	1,7	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	58,7
1995	0,3	10,3	30,4	45,6	44,8	14,3	9,6	4,4	2,1	1,2	1,0	0,5	164,5
1996	3,1	4,1	19,0	32,1	27,5	14,2	9,2	7,6	2,7	1,5	2,2	1,2	124,3
1998	2,9	2,9	3,1	4,7	2,5	4,3	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,2
2000	3,3	14,3	21,1	29,7	16,7	9,6	4,5	8,6	22,7	14,8	0,0	0,0	145,3
2001	0,1	0,4	3,3	25,2	12,4	12,3	24,2	22,9	10,5	0,0	0,0	0,0	111,3
2002	5,0	3,9	15,7	22,9	17,9	11,1	22,5	22,9	17,1	2,9	0,0	0,0	141,9
2003	0,0	10,6	33,0	30,9	21,2	11,7	22,7	24,6	22,3	10,0	0,0	0,0	187,0
2004	22,1	33,3	33,6	27,3	26,4	21,7	17,1	12,0	24,2	23,8	21,7	21,5	284,5
2005	2,6	2,8	11,8	14,7	11,6	6,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	49,7
2006	0,0	1,3	15,3	21,5	19,8	4,8	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	64,4
Média	6,1	8,7	21,6	32,1	28,2	17,8	15,4	11,0	8,3	5,7	3,9	4,3	163,1

Quadro 5.5 - Série de Vazões afluentes ao Barragem Inhuçu, em hm³/ano

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Ano
1963	4,5	4,3	22,0	27,1	9,5	4,3	2,8	1,8	1,1	0,7	0,6	1,3	80,0
1965	2,6	3,0	8,5	43,8	33,7	23,4	19,1	17,6	16,3	17,6	15,6	15,5	216,7
1966	14,6	14,5	10,0	8,9	5,2	4,2	2,9	1,7	1,0	0,7	0,0	0,0	63,7

1967	0,7	3,5	19,1	39,4	38,8	16,9	13,2	10,9	8,6	7,1	4,6	4,3	167,2
1968	5,4	4,5	17,9	15,6	17,1	8,7	5,9	3,9	2,7	2,1	1,8	3,0	88,5
1969	3,6	3,8	6,7	10,4	7,1	4,9	5,4	3,1	1,7	1,3	1,0	0,9	50,1
1970	1,4	1,1	4,7	5,1	3,2	1,7	1,2	0,8	0,5	0,0	0,5	0,2	20,3
1971	1,1	2,1	4,4	11,1	9,9	8,3	4,7	2,6	1,3	0,8	0,6	0,5	47,5
1972	0,9	1,9	4,5	5,5	5,5	2,8	1,4	0,8	0,5	0,0	0,0	0,2	23,9
1973	2,7	4,5	11,5	14,9	26,3	10,9	6,9	3,9	2,5	2,1	1,1	1,2	88,4
1974	4,8	7,5	18,9	75,8	92,6	82,0	76,2	45,3	18,6	15,4	11,9	11,5	460,5
1975	11,1	6,6	39,2	18,7	21,8	16,8	12,3	8,8	8,0	5,2	4,3	7,4	160,3
1976	4,3	11,2	12,5	18,3	9,5	7,3	5,1	3,9	3,2	3,0	3,0	2,5	84,0
1987	3,8	3,7	21,2	15,7	7,9	7,5	3,7	1,6	0,8	0,7	0,3	0,0	66,8
1989	6,8	6,0	11,8	34,9	31,9	14,2	15,6	7,5	4,7	3,2	1,9	5,3	143,8
1990	3,9	5,3	15,0	10,4	11,6	6,3	3,5	1,6	0,7	0,4	0,1	1,2	59,9
1992	1,9	7,4	8,5	10,6	3,5	1,8	1,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	35,0
1995	0,2	6,1	18,2	27,2	26,8	8,6	5,7	2,6	1,3	0,7	0,6	0,3	98,3
1996	1,9	2,4	11,4	19,2	16,4	8,5	5,5	4,5	1,6	0,9	1,3	0,7	74,3
1998	1,7	1,7	1,8	2,8	1,5	2,5	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,6
2000	2,0	8,5	12,6	17,7	10,0	5,7	2,7	5,1	13,6	8,8	0,0	0,0	86,8
2001	0,0	0,2	2,0	15,1	7,4	7,3	14,5	13,7	6,3	0,0	0,0	0,0	66,5
2002	3,0	2,3	9,3	13,7	10,7	6,6	13,4	13,7	10,2	1,8	0,0	0,0	84,8
2003	0,0	6,3	19,7	18,5	12,7	7,0	13,6	14,7	13,3	6,0	0,0	0,0	111,7
2004	13,2	19,9	20,1	16,3	15,8	13,0	10,2	7,2	14,5	14,2	12,9	12,8	169,9
2005	1,6	1,6	7,0	8,8	6,9	3,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,7
2006	0,0	0,8	9,1	12,8	11,8	2,9	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,5
Média	3,6	5,2	12,9	19,2	16,9	10,7	9,2	6,6	4,9	3,4	2,3	2,5	97,4

O regime fluvial do Rio Macambira nos sítios das barragens Lontras e Inhuçu podem ser observado no **Quadro 5.6** e nas **Figura 5.1** e **Figura 5.2**.

Quadro 5.6- Vazões médias Mensais Afluentes às barragens Inhuçu e Lontras (hm³)

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Lontras I	6,1	8,7	21,6	32,1	28,2	17,8	15,4	11,0	8,3	5,7	3,9	4,3
Inhuçu-Sotero	3,6	5,2	12,9	19,2	16,9	10,7	9,2	6,6	4,9	3,4	2,3	2,5

Fonte: Hidroweb

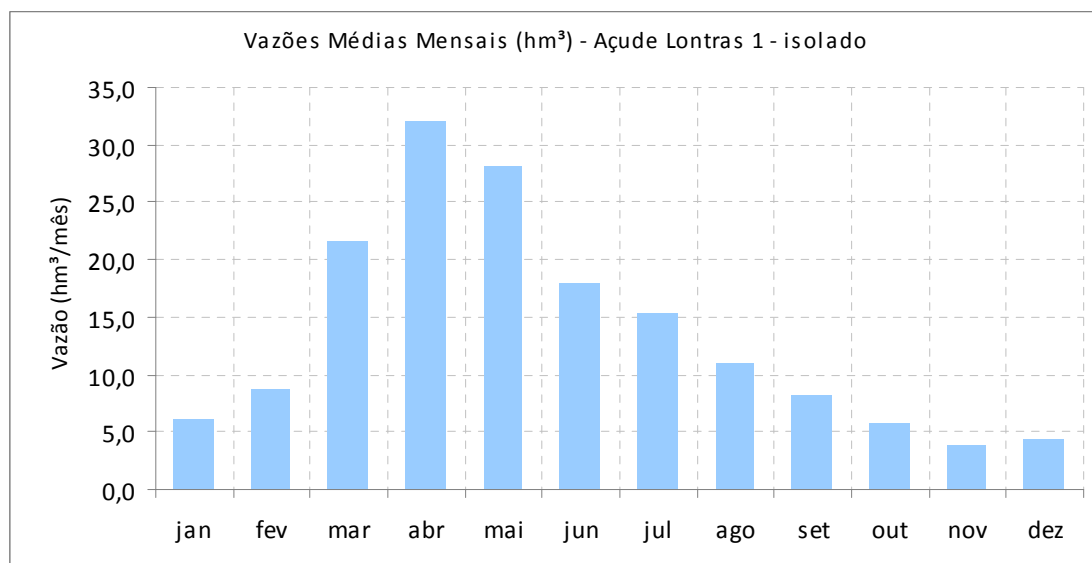


Figura 5.1 - Vazões médias mensais Afluentes à barragem Lontras (hm³)

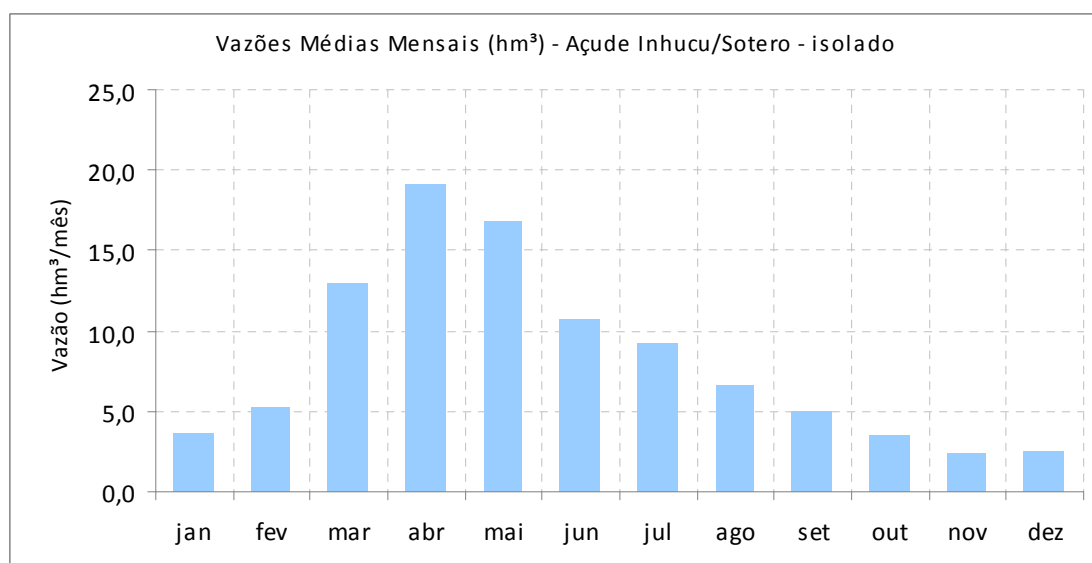


Figura 5.2 - Vazões médias mensais Afluentes à barragem Inhuçu (hm³)

5.2 VAZÕES EM ESTUDOS ANTERIORES: ANÁLISE COMPARATIVA

São três os estudos que trazem em seu corpo dados hidrológicos referentes à região em estudo:

Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH (1992)

Eixo de Integração da Ibiapaba – SRH (2000)

Marco Regulatório – Relatório Final do GTO – Grupo Técnico Operacional – Subgrupo 1 – Hidrologia – (ANA/SRH-CE/SRH-Pi/DNOCS/CODEVASF, 2001)

No que refere ao PERH (1992), este utilizou o modelo hidrológico MODHAC - Modelo Hidrológico Auto-Calibrável. No caso bacia em estudo foi gerada uma série sintética para o posto fluviométrico Croatá (1912 – 1988).

No que se refere ao Plano da Ibiapaba (2000), o estudo utilizou as mesmas séries geradas anteriormente pelo PERH (período 1912 a 1988) e as estendeu até 1997, utilizando o modelo chuva deflúvio. Por se tratar basicamente, dos mesmos dados do PERH, os do Plano da Ibiapaba não serão tratados neste texto.

Já o Grupo Técnico Operacional da ANA, para a definição do Marco Regulatório (2001), utilizou o modelo determinístico chuva-vazão CN-3S (Curve Number with Three Step Antecedent Precipitation) desenvolvido com o objetivo de gerar vazões sintéticas para a simulação de operações de reservatórios. O CN-3S utiliza como dados de entrada, necessários ao cálculo da lâmina de escoamento superficial de um determinado intervalo de tempo, a precipitação pluviométrica do próprio período e as precipitações dos três períodos antecedentes. O Marco Regulatório gerou uma série fluviométrica para cada reservatório – Inhuçu e Lontras - mas em eixos diferentes dos escolhidos no presente estudo.

Os dados gerados no PERH e no Marco Regulatório, juntamente com os dados efetivamente medidos no posto fluviométrico de Croatá (e adotados no presente estudo) podem ser melhor comparados no **Quadro 5.7**, onde são também colocadas as precipitações médias para a bacia calculadas em cada estudo, para a determinação de grandezas que possam ser melhor comparadas – a lâmina escoada (mm) e o coeficiente de escoamento (%).

Quadro 5.7 - Lamina (em mm) e coeficiente de escoamento (em mm) nos três estudos avaliados

Fonte	Vazão Média Afluente anual	Área de drenagem (km ²)	Lâmina (Km)	Lâmina (mm)	Precipitação Média (Thiessen)	Coeficiente de Escoamento (%)
-------	----------------------------	-------------------------------------	-------------	-------------	-------------------------------	-------------------------------

Posto Flu Croata (hidroweb)	118,78	1.030,0	0,00011532	115,3	729,0	15,8
PERH	-	-	0,00015275	152,8	936,9	16,3
Marco Regulatório(Em Inhuçu)	-	-	0,00012270	145,0	745,0	19,5
Marco Regulatório(Em Lontras)	-	-	0,00012270	122,7	692,0	17,7

Comparando-se as três fontes, observa-se que o coeficiente de escoamento (lâmina média anual/precipitação média anual) estão próximos entre si, embora o calculado pelo posto fluviométrico de Croatá (adotado neste estudo) seja menor e mais próximo daqueles encontrados pelo Grupo de Estudo do Vale do Jaguaribe, para bacias de condições semelhantes (valores nunca superiores a 10%). Quanto à lâmina escoada, os maiores valores encontrados foram pelo PERH (1992). Em outros estudos já tinha sido observado também este viés de alta nas vazões geradas pelo PERH, o qual também indica uma precipitação média muito elevada para a bacia de drenagem (936,9mm), visto que apenas nas cabeceiras da bacia, nas proximidades de Guaraciaba do Norte, estes valores são atingidos.

Outra maneira de avaliar estes dados é assumir que as vazões afluentes as Barragens Inhuçu e Lontras tenham as mesmas características apontadas no PERH e Marco Regulatório. Sendo assim, o **Quadro 5.8** apresenta as vazões médias afluentes anuais as duas barragens, tendo os três estudos como base.

Quadro 5.8 - Vazões médias Afluentes Anuais às barragens Inhuçu e Lontras (hm³)

Fonte	Vazão Média Afluente anual (hm ³)	Vazão Média Afluente anual (hm ³)	Diferença em relação ao estudo atual
	Inhuçu	Lontras	

Estudo Atual (dados flu Croatá – hidroweb)	97,68	163,06	-
PERH	129,38	215,99	30%
Marco Regulatório	103,93	173,50	6%

Observa-se mais uma vez, que os dados do PERH superestimam as vazões afluentes aos dois barramentos (~30%), enquanto que os dados gerados pela ANA estão bem próximos do adotados neste estudo, com acréscimo de apenas 6%.

6.A CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO DAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU

6. A CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO DAS BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU

A capacidade de regularização das Barragens Lontras e Inhuçu foram analisadas a partir de suas operações simuladas. As séries históricas de vazões utilizadas em cada barramento é a contida no Capítulo 5 (

Quadro 5.4 e Quadro 5.5). Os estudos foram desenvolvidos através da equação do balanço hídrico, tomando por base as seguintes premissas:

- A unidade de tempo é um mês;
- A retirada do reservatório é constante ao longo dos anos e ao longo dos meses;
- A contribuição líquida sobre o lago - precipitação menos evaporação - é admitida constante ao longo dos anos, mas variável ao longo dos meses.

5.3 A EQUAÇÃO DO BALANÇO HÍDRICO DE UM RESERVATÓRIO.

A determinação do comportamento do reservatório é feito pela equação de seu balanço hídrico, que consiste em igualar as entradas e saídas do reservatório como se segue:

$$dV/dt = E - S \quad (6.1)$$

onde dV/dt é a variação do volume ao longo do tempo, E o resultado de todas as entradas no sistema e S o resultado de todas as saídas. As entradas são compostas dos deflúvios afluentes e das precipitações diretas sobre o espelho d'água do reservatório; as retiradas, por sua vez, são formadas pelas evaporações e pelas retiradas. A equação do balanço hídrico usada neste modelo é dada por:

$$V_{i+1} = V_i + (P_i - E_i) \times \frac{1}{2} (A_{i+1} + A_i) + I_i - R_i - S_i \quad (6.2)$$

onde:

V_{i+1} e V_i = representam os volumes de água estocados no reservatório no início dos meses $i+1$ e i respectivamente;

P_i = precipitação média sobre o espelho de água do Barragem durante o mês i ;

E_i = lâmina média evaporada da superfície do lago durante o mês i ;

A_{i+1} e A_i = representam as áreas do lago do reservatório no início dos meses $i+1$ e i respectivamente;

I_i = volumes afluentes ao reservatório durante o mês i ;

M_i = retirada do reservatório durante o mês i ;

S_i = volume sangrado do reservatório.

Considerando-se que o reservatório está com um volume inicial V_0 , simular-se-á, para uma garantia G , o reservatório a nível mensal para a respectiva série histórica de vazões durante H anos, onde H é a extensão da série histórica. Inicialmente considera-se a retirada $M = \min(K/2, \mu/2)$. Ao final de cada ano é calculado se o volume anual armazenado é suficiente para atender a demanda (= retirada M); se não for, é considerado que naquele ano ocorreu uma falha.

A regra de operação é definida por:

$$V_{i+1} = 0, \text{ se } (V_i + (P_i - E_i) \times \frac{1}{2}(A_{i+1} + A_i) - M_i + I_i) \leq 0 \quad (6.3)$$

$$V_{i+1} = (V_i + (P_i - E_i) \times \frac{1}{2}(A_{i+1} + A_i) + I_i), \text{ se } 0 < (V_i + (P_i - E_i) \times \frac{1}{2}(A_{i+1} + A_i) - M_i + I_i) < k \quad (6.4)$$

$$V_{i+1} = k, \text{ se } (V_i + (P_i - E_i) \times \frac{1}{2}(A_{i+1} + A_i) - M_i + I_i) \geq k \quad (6.5)$$

No final dos H anos é verificado se a retirada M assumida inicialmente ($\min(K/2, \mu/2)$) corresponde à frequência de falhas pretendida. Caso seja superior, diminui-se a retirada, caso contrário, eleva-se a retirada e simula-se novamente o comportamento do reservatório para H anos e assim sucessivamente até que a retirada correspondente a uma frequência de falhas pretendida seja encontrada.

5.4 A SIMULAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS UTILIZANDO O PROGRAMA SIMRES

As simulações das barragens Lontras e Inhuçu foram feitas utilizando o módulo **SIMULAÇÃO** do programa **SIMRES**, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará. Este módulo

executa a simulação do reservatório, resolvendo a equação de seu balanço hídrico conforme descrito no item 6.1.

Este módulo utiliza dois arquivos de dados:

- Arquivo dos deflúvios mensais afluentes ao reservatório – este arquivo é apresentado em um formato denominado TAPE3.DAT.
- Arquivo de dados gerais – este arquivo, cujo formato é denominado de TAPE2.DAT informa as características gerais do reservatório e os procedimentos da simulação.

5.5 DADOS DE ENTRADA DO SIMRES PARA BARRAGENS LONTRAS E INHUÇU

São descritos nos itens a seguir os dados utilizados para a formação dos arquivos de entrada do SIMRES.

5.5.1 Dados do TAPE3.DAT

A simulação da barragem utiliza como TAPE3.DAT dois arquivos diferentes: o da *série histórica* e da *série sintética*, esta última com 5.000 anos de extensão, no intuito de analisar o comportamento do reservatório no seu estado de equilíbrio.

5.5.2 Dados do TAPE2.DAT

Foram adotados os seguintes dados, correspondentes aos dados gerais dos reservatórios e das simulações:

- **Garantia** – 90%
- **Horizonte de Simulação** – 5.000 anos (estado de equilíbrio)
- **Curvas Cota x Volume** - os dados da curva cota x volume utilizadas nas simulações são mostrados no Capítulo 3.
- **Volume Inicial** - os reservatórios foram considerados inicialmente cheios (na realidade, esta condição não irá afetar os resultados, devido ao processo já se encontrar no seu estado de equilíbrio).

- **Evaporação líquida do lago (Evaporação – Precipitação)** – os dados de evaporação líquida e dos coeficientes de distribuição das evaporações utilizados nas simulações dos dois reservatórios foram retirados dos **Quadro 2.5** e
- Quadro 2.11 e estão consolidadas no **Quadro 5.1**.

Quadro 5.1 - Evaporação líquida do lago dos reservatórios Inhuçu e Lontras

	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	total
Ei (Posto Sobral)	151,8	94,3	69,7	58,4	71,0	99,3	150,2	200,8	222,8	242,7	217,7	196,1	1774,8
Pi (Thiessen)	82,84	110,82	179,42	191,52	84,57	27,89	10,45	2,33	0,66	1,92	6,61	29,99	729,02
Ei-Pi	68,96	-16,52	-109,72	-133,12	-13,57	71,41	139,75	198,47	222,14	240,78	211,09	166,11	1045,78
ei=(Ei-Pi)	0,066	-0,016	-0,105	-0,127	-0,013	0,068	0,134	0,190	0,212	0,230	0,202	0,159	1,00

5.5.3 Cenários Simulados

Foram simulados três cenários de topologias – Inhuçu isolado (Cenário A), Lontras isolado (Cenário B) e os dois reservatórios em série (Cenário C).

No Cenário A, adotou-se, para o reservatório Inhuçu, a capacidade de 100 hm³ (a capacidade máxima para este reservatório seria de 180 hm³, correspondente à cota acima da qual a vazão regularizada diminui). No Cenário B, adotou-se a capacidade do reservatório Lontras igual a 350 hm³ (correspondente à cota que não alaga a sede municipal de Croatá). No Cenário C, variou-se a capacidade de Lontras entre 350 e 320 hm³ e Inhuçu, entre 40 e 100 hm³, desde que o somatório das duas não excedesse a capacidade máxima conjunta de 420 hm³, estabelecida pelo Marco Regulatório (Resolução 547/2006 ANA/SRH-CE/SEMAR-PI) (**Quadro 5.2**).

Quadro 5.2 - Capacidades adotadas nos cenários A, B e C (em hm³)

CENÁRIO		LONTRAS	INHUÇU	SISTEMA (SOMATÓRIO)
A			100	100
B		350	350	350
C	1	350	40	390
	2	350	50	400
	3	350	60	410
	4	350	70	420
	5	340	80	420
	6	330	90	420

	7	320	100	420
--	---	-----	-----	-----

5.6 AS VAZÕES REGULARIZADAS PELOS RESERVATÓRIOS LONTRAS E INHUÇU

Ao optar-se pela operação simulada do reservatório, dois caminhos distintos podem ser seguidos: a simulação estocástica (método experimental) e a simulação utilizando unicamente a série histórica (método empírico).

Na simulação estocástica, várias sequências independentes de vazões são geradas. E, uma vez que diversos resultados são obtidos, pode-se estimar a vazão regularizada baseado na análise probabilística do comportamento da mesma. Pode-se ainda gerar uma única série sintética de vazões, bastante longa, e adotar-se um horizonte de simulação igual ao da série gerada, simulando o processo de armazenamento no reservatório em seu estado de equilíbrio.

No caso da simulação do reservatório utilizando apenas a série histórica de vazões, prática corrente no meio técnico, faz-se o horizonte de simulação igual ao da extensão da série histórica e arbitra-se o Volume Inicial (V_0) a ser assumido para o reservatório. O inconveniente é que, para a mesma série, a cada volume inicial adotado, encontrar-se-ia um valor diferente de vazão regularizada para reservatórios, pois o processo de armazenamento para $n = 27$ anos ainda está no seu estado transiente (Studart, 2000).

Assim, no presente estudo, as vazões regularizadas pelas Barragens Lontras e Inhuçu foram calculadas com os mesmos no seu estado de equilíbrio, para que os resultados não sejam influenciados pelas condições iniciais do reservatório.

O

Quadro 5.3 apresenta os resultados das simulações ao adotarem-se os Cenários A, B e C. Os cenários A e B consideram apenas um único reservatório –Inhuçu e Lontras, respectivamente. No caso do Cenário C, com Inhuçu a montante de Lontras, este último é simulado com as sangrias do primeiro somadas às vazões geradas na área livre ($A=567 \text{ km}^2$ $523,00 \text{ km}^2$) da bacia da barragem Lontras.

Quadro 5.3 - Vazões Regularizadas pelas Barragens Lontras e Inhuçu e pelo Sistema nos cenários A, B e C (em hm³)

CENÁRIO		LONTRAS	INHUÇU	VAZÃO REGULARIZADA PELO SISTEMA (HM ³ /ANO)
A	Capacidade (hm ³)		100,0	
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)		97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)		50,6	50,6
	f _k		1,0	
	f _M		0,5	
B	Capacidade (hm ³)	350,0		
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	163,1		
	Q90 (hm ³ /ano)	106,3		106,3
	f _k	2,1		
	f _M	0,7		
C1	Capacidade (hm ³)	350	40,0	
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	154,4	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	98,7	32,7	131,4
	f _k	2,3	0,4	
	f _M	0,6	0,3	
C2	Capacidade (hm ³)	350	50	
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	149,3	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	94,9	37,2	132,1
	f _k	2,3	0,5	
	f _M	0,6	0,4	
C3	Capacidade (hm ³)	350	60	
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	145,3	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	92,0	41,1	133,1
	f _k	2,4	0,6	
	f _M	0,6	0,4	

C4	Capacidade (hm ³)	350	70	
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	141,9	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	89,5	43,7	133,2
	f _k	2,5	0,7	
	f _M	0,6	0,4	
C5	Capacidade (hm ³)	340	80	
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	139,1	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	86,6	46,4	133,0
	f _k	2,4	0,8	
	f _M	0,6	0,5	
C6	Capacidade (hm ³)	330	90	
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	136,2	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	84,1	48,6	132,7
	f _k	2,4	0,7	
	f _M	0,6	0,5	
C7	Capacidade (hm ³)	320	100	
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	133,79	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	83,7	50,6	134,3
	f _k	2,4	1,0	
	f _M	0,6	0,5	

A **Figura 0.1** apresenta os resultados das simulações ao adotarem-se os Cenários A, B e C para a barragem Inhuçu, Lontras, e para o Sistema formado pelos dois reservatórios em série. Observa-se que, para o Sistema, independentemente da topologia adotada para o Cenário C (sete alternativas), o mesmo se comporta hidrológicamente da mesma maneira, ou seja, regulariza algo em torno de 4,3 m³/s, devido à uma compensação entre os dois reservatórios, o que torna possível a escolha da capacidade do Inhuçu que melhor atenda outros requisitos importantes, tais como manchas de solo.

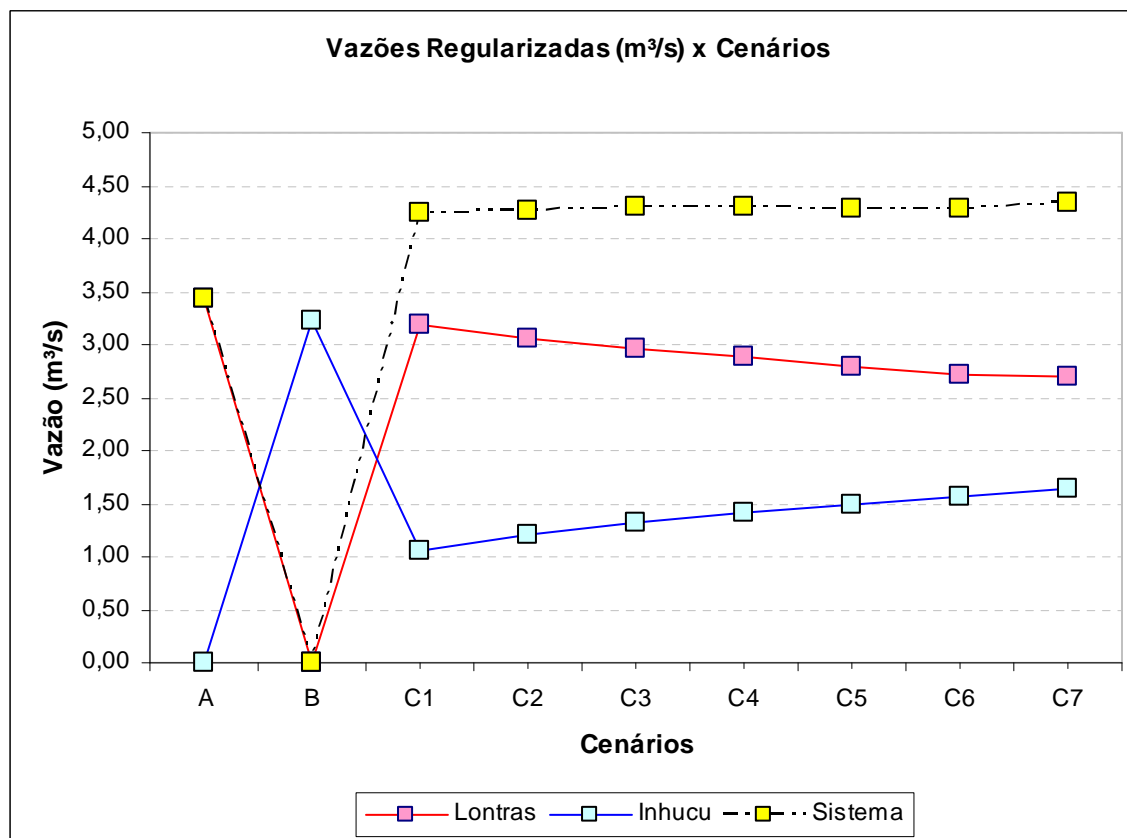


Figura 0.1 - Vazões Regularizadas pelas Barragens Lontras e Inhuçu e pelo Sistema nos cenários A, B e C (em hm³)

Sendo assim, Cenário escolhido em função de outras considerações, além das hidrológicas, é o Cenário C1 (Inhuçu com capacidade igual a 40 hm³ e Lontras com 350 hm³).

Considerando o Cenário C1 como o definitivo, uma análise adicional pode ainda ser feita. Considerando-se que se retirará 3m³/s da barragem Lontras, simulou-se o reservatório com vários níveis de água (nível de operação) e determinou-se a garantia anual para esta retirada. Os resultados estão descritos no **Quadro 5.4** e na **Figura 0.2**.

Quadro 5.4 - Nível de operação do reservatório (em hm³) e garantia associada a retirada de 3,0m³/s

Nível de Operação (hm ³)	Cota do reservatório (m)	Garantia Anual G (%)
350	516,25	94,26
300	513,68	92,64
250	510,81	90,08
200	507,53	85,38
197	507,32	85,02
195	507,17	84,78
160	504,48	80,68
158	504,32	80,38
156	504,15	80,04
154	503,98	79,64
150	503,64	73,04

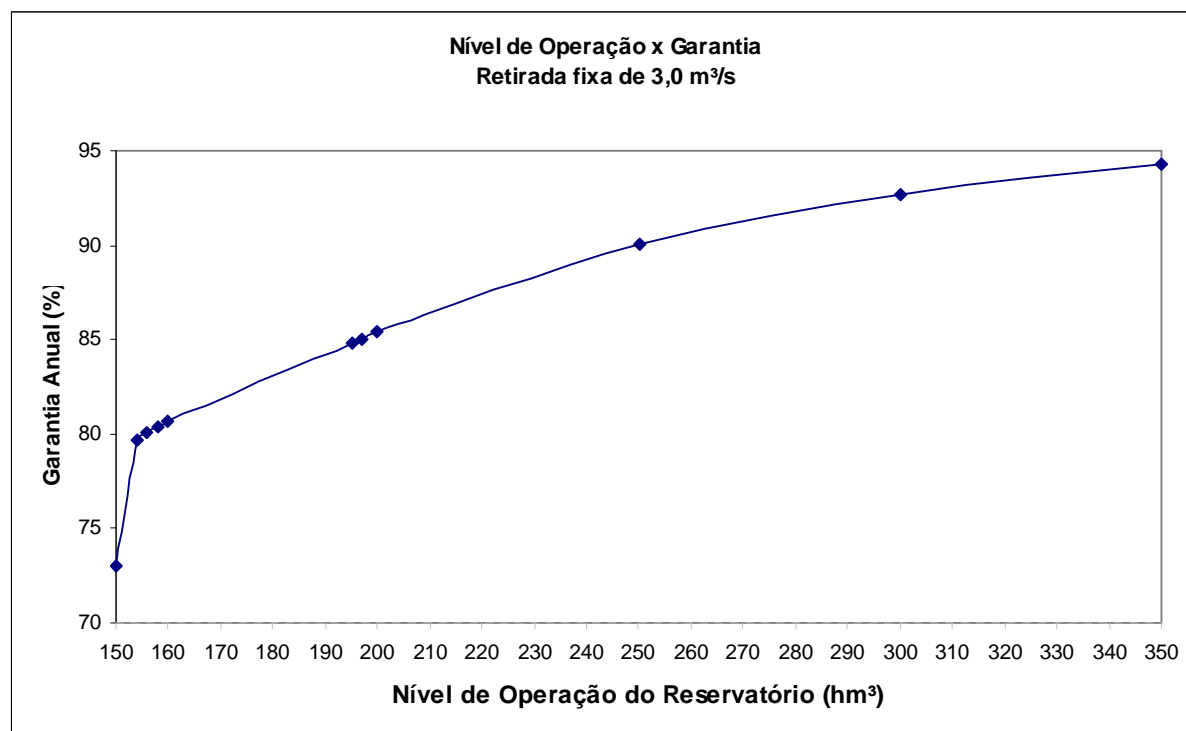


Figura 0.2 - Nível de operação do reservatório (em hm³) e garantia associada a retirada de 3,0m³/s

6 O ESTUDO DE CHEIAS E DO VERTEDOURO

6. ESTUDO DE CHEIAS E DO VERTEDOURO

6.1 INTRODUÇÃO

A cheia de projeto, muitas vezes denominada de *cheia sintética*, é frequentemente utilizada na análise, planejamento e dimensionamento de obras hidráulicas. No presente capítulo, as *cheias de projeto* com períodos de retorno de 1.000 e 10.000 anos são utilizadas na análise do comportamento hidráulico do sangradouro da barragem Inhuçu, no sentido de *verificação da segurança* das barragens supracitadas. O programa utilizado é o Flood Hydrograph Package (HEC-HMS), desenvolvido pelo Hydrologic Engineer Center, do U.S. Army Corps of Engineers (EUA).

Nos padrões definidos pelo U.S. Army Corps of Engineers - e disponíveis no programa - são três os diferentes métodos para a determinação das cheias sintéticas: 1) a cheia de projeto padrão (standard project storm); 2) a cheia máxima provável e, 3) a cheia de projeto de diferentes durações derivadas de dados área-altura de chuva.

O método da *cheia de projeto de diferentes durações* foi desenvolvido pelas agências americanas National Weather Service (NWS) e National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). O método também é conhecido como *cheia balanceada*, porque suas alturas incrementais acumuladas podem ser organizadas em relações consistentes frequência x duração para cada intervalo de duração da chuva total. Isso significa que intervalos de chuvas de diferentes durações - 1h, 2h, 8h - produzem totais de chuva com a mesma frequência de excedência (ou período de retorno). Aceitando-se os princípios do NWS, optou-se, para o presente estudo, adotar uma *cheia de projeto balanceada* usando-se os parâmetros do clima local.

Para o desenvolvimento da cheia de projeto, dois parâmetros devem ser inicialmente estimados: a *duração* da chuva e o *intervalo de tempo* para cada incremento de chuva. A duração da chuva deve ser, *no mínimo*, igual ao tempo de concentração da bacia, mas, *preferencialmente*, mais longa. Uma duração *mais longa* reflete melhor as condições reais onde, normalmente, uma chuva crítica acontece *inserida* em uma chuva de maior duração.

Para a segurança da barragem Lontras considerou-se neste Capítulo o cenário mais adverso, ou seja, a construção da barragem Lontras sem a existência da barragem Inhuçu a montante- Cenário B (Reservatório Lontras isolado). A capacidade selecionada foi de 350 hm³.

No presente caso, adotou-se uma chuva de duração igual a duas vezes o tempo de concentração da bacia total (Inhuçu tem t_c igual a 9,4h e a área livre de Lontras tem t_c igual a 7,2).

Por sua vez, o *intervalo de cálculo* deve ser suficientemente curto para definir com precisão o hidrograma de cheia. Estima-se que um intervalo de tempo que produz quatro ou cinco pontos no ramo ascendente do hidrograma é suficientemente preciso (Hoggan, 1996). Dentro destas premissas adotou-se neste estudo um intervalo de tempo (Δt) igual a 1 hora.

6.2 A CHUVA DE PROJETO

Determinou-se a duração da chuva em função do tempo de concentração da bacia ($t_d=2t_c$), ou seja, t_d para Lontras (área livre), é de 14hs. De acordo com o Capítulo 4, observa-se que para Lontras a chuva milenar é de 150,4 e a decamilenar é de 180,1 mm. A distribuição do total precipitado ao longo destes períodos seguiu metodologia proposta pelo NWS e pode ser observada no **Quadro 6.1**. As **Figura 6.1** e **Figura 6.2** mostram a chuva balanceada milenar e decamilenar ao longo de 2 t_c para Lontras.

Quadro 6.1 - Distribuição temporal das precipitações incrementais ao longo de 18 horas (em mm) considerando o intervalo de duração de 1 hora - Lontras

	TR=1.000 anos	Tr =1.000 anos	Tr =10.000 anos	Tr =10.000 anos
Intervalos de 1 h	Precipitação Incremental (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação Incremental (mm)	Precipitação Acumulada (mm)
1	1,55	1,55	1,88	1,88
2	1,55	3,10	1,88	3,75
3	3,00	6,10	4,00	7,75
4	3,00	9,10	5,00	12,75
5	6,00	15,10	8,00	20,75
6	11,00	26,10	12,00	32,75
7	51,36	77,46	60,94	93,69
8	17,64	95,10	20,06	113,75
9	6,00	101,10	9,00	122,75
10	5,00	106,10	5,00	127,75
11	4,00	110,10	3,00	130,75
12	3,00	113,10	3,00	133,75
13	1,55	114,65	1,88	135,63
14	1,55	116,20	1,88	137,50

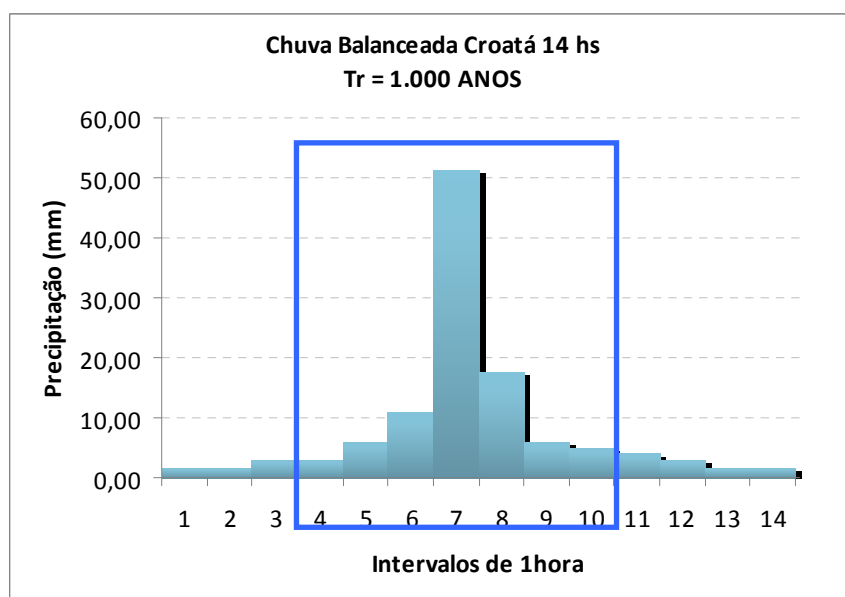


Figura 6.1 - Chuva balanceada de 14 horas para $Tr=1.000$ anos para Lontras

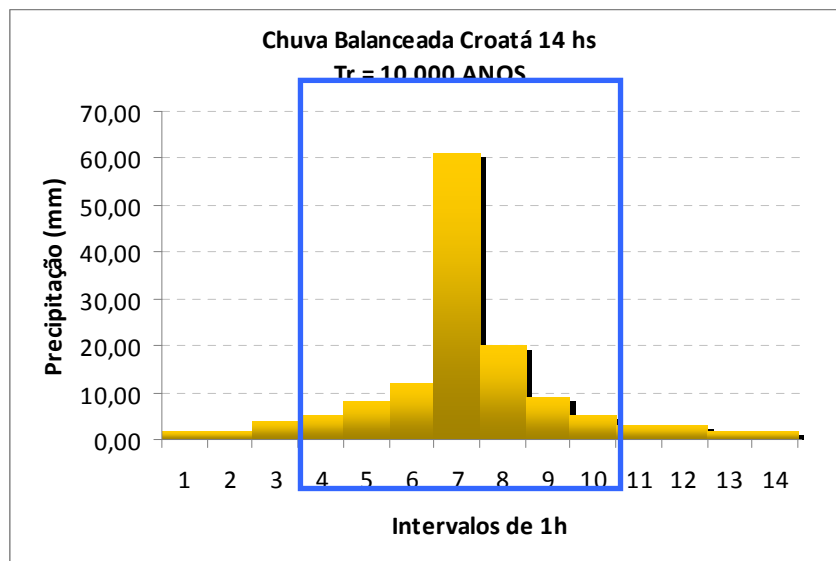


Figura 6.2 - Chuva balanceada de 14 horas para $Tr=10.000$ anos para Lontras

6.3 MÉTODO CHUVA-DEFLÚVIO ADOTADO

A metodologia adotada neste estudo é a do Método do Hidrograma Unitário Triangular, desenvolvido pelo U. S. Soil Conservation Service (1972). Este método, largamente utilizada em estudos desta natureza no Nordeste, se baseia em um hidrograma adimensional, resultado da análise de um grande número de hidrogramas unitários naturais de bacias de variadas extensões e localizações geográficas nos Estados Unidos. De simples aplicação, depende basicamente do tempo de concentração da bacia e nas relações geométricas obtidas na **Figura 6.3**.

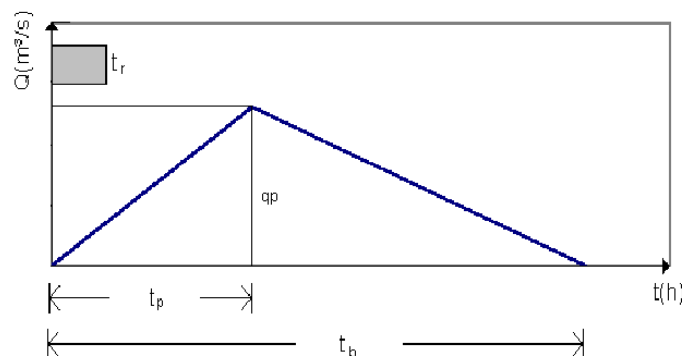


Figura 6.3 - Hidrograma Unitário Sintético do Soil Conservation Service

O Hidrograma Triangular do SCS tem seu tempo de pico igual a:

$$t_p = 0,5t_r + 0,6t_c \quad (7.1)$$

Onde: t_r = tempo de duração da chuva unitária, em horas (recomenda-se $t_r=0,2t_c$ para reduzir o trabalho de cálculo), e t_c = tempo de concentração da bacia (em horas).

O tempo de base t_b é dado por:

$$t_b = 2,67t_p \quad (7.2)$$

Obtém-se a descarga de pico q_p observando-se que a área do triângulo representa o volume escoado da bacia para um deflúvio de 1 mm.

$$q_p = \frac{2 \times P \times A}{t_b} \quad (7.3)$$

Onde P é igual a 1 mm, A é a área da bacia e t_b é o tempo de base. A aplicabilidade do Método do Hidrograma Unitário se dá somente em bacias hidrográficas com áreas até 2.500 km².

A bacia hidrográfica as barragens Inhuçu e Lontras estão dentro deste limite.

6.3.1 Hidrograma unitário sintético da bacia para uma precipitação de 1 mm e duração igual a 1/5 do tempo de concentração

Utilizando-se as **Equações 7.1 a 7.3** e sabendo-se o tempo de concentração, têm-se que o hidrogramas unitários das mesmas, para uma chuva de 1 mm e de duração 1/5 do tempo de concentração.

6.3.2 Determinação da precipitação efetiva (P_E)

A retenção de parte da chuva nas depressões do solo e sua infiltração são os principais fatores que afetam a relação chuva-deflúvio, determinando a quantidade de chuva que se transforma em escoamento superficial, conhecida como **precipitação efetiva**. Segundo o Soil Conservation Service:

$$P_E = (P - 5.080/CN + 50,8)^2 / (P + 20.320/CN - 203,2) \quad (7.4)$$

O parâmetro CN, denominado “curve number” varia de 0 a 100, conforme a permeabilidade do solo, cobertura vegetal, textura da superfície e umidade antecedente do solo, e se encontra tabelado para diversos tipos de cobertura vegetal, tratamento agrícola e grupos hidrológicos de solos classificados de acordo com sua permeabilidade.

Para a bacia da barragem Lontras adotou-se CN = 65.

6.4 AS CHEIAS MÁXIMAS COM TR = 1.000 E 10.000 ANOS AFLUENTES E EFLUENTES AO RESERVATÓRIO LONTRAS

As cheias máximas com tr = 1.000 e 10.000 anos afluentes e efluentes ao reservatório Lontras.

O Cenário simulado tem topologia cujas principais características são novamente apresentadas no **Quadro 6.2**.

Quadro 6.2 - Principais Características do reservatório Lontras

Barragem	Capacidade (hm ³)	Bacia Hidrográfica (km ²)	Cota da Soleira do Vertedouro (m)
Lontras	347,13	567	535,00

No que se refere ao vertedouro, considerou-se Perfil Creager, conforme **Equação 7.5**.

$$Q = 2. L H^{1,5} \quad (7.5)$$

O **Quadro 6.3** apresenta as vazões afluentes e efluentes a barragem Lontras (cenário B). Variou-se a largura do vertedouro da barragem Lontras entre 80 metros e 120 metros.

Quadro 6.3 - Vazões de pico dos hidrogramas afluentes e efluentes para $T_r = 1.000$ e 10.000 anos, Lâmina sobre a soleira do vertedouro e nível de amortecimento da barragem Lontras, considerando a largura do vertedouro 80, 100 e 120m.

	Milenar			Decamilenar		
	L=80m	L=100m	L=120m	L=80m	L=100m	L=120m
Cheia Afluente	2.097,8 m ³ /s			2.864,9 m ³ /s		
T_p	15 hs			15 hs		
Cheia Efluente	827,10m ³ /s	940,3m ³ /s	1.034,1m ³ /s	1.208,3 m ³ /s	1.366,5 m ³ /s	1.504,4 m ³ /s
T_p	23 hs	22 hs	22 hs	22 hs	22 hs	21 hs
lâmina (m)	2,8 m	2,6 m	2,4 m	3,6 m	3,3 m	3,1 m
Amorteci mento	60,7 %	55,2 %	50,7 %	57,8%	52,3%	47,5%

Observa-se que a capacidade de amortecimento da barragem Lontras é grande. Dependendo da largura do vertedouro adotada, esta varia de 47 a 61%, considerando as cheias milenar e decamilenar.

Segundo recomendação do Painel de Segurança do Banco Mundial, adotado como padrão pela Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, o vertedouro deve ser dimensionado para a chuva milenar e deve ser verificado pela cheia decamilenar, de maneira que a cota de coroamento da barragem fique pelo menos 50 cm acima da cota de sangria da cheia decamilenar. Para a barragem Lontras, no que se refere à cheia milenar, a lâmina sobre o vertedouro fica entre de 2,4 e 2,8 metros. No caso da decamilenar, esta varia de 3,1 m (L=120m) a 3,6 m (L=80m). A definição da largura do vertedouro da barragem Lontras também ficará vinculada a considerações construtivas. Mas observa-se que os valores de lâmina encontradas para as cheias decamilenares estão dentro de uma faixa de valores considerados seguros.

A seguir será apresentado os Hidrogramas de Amortecimento e sumários das simulações para as cheias milenar e decamilenar.

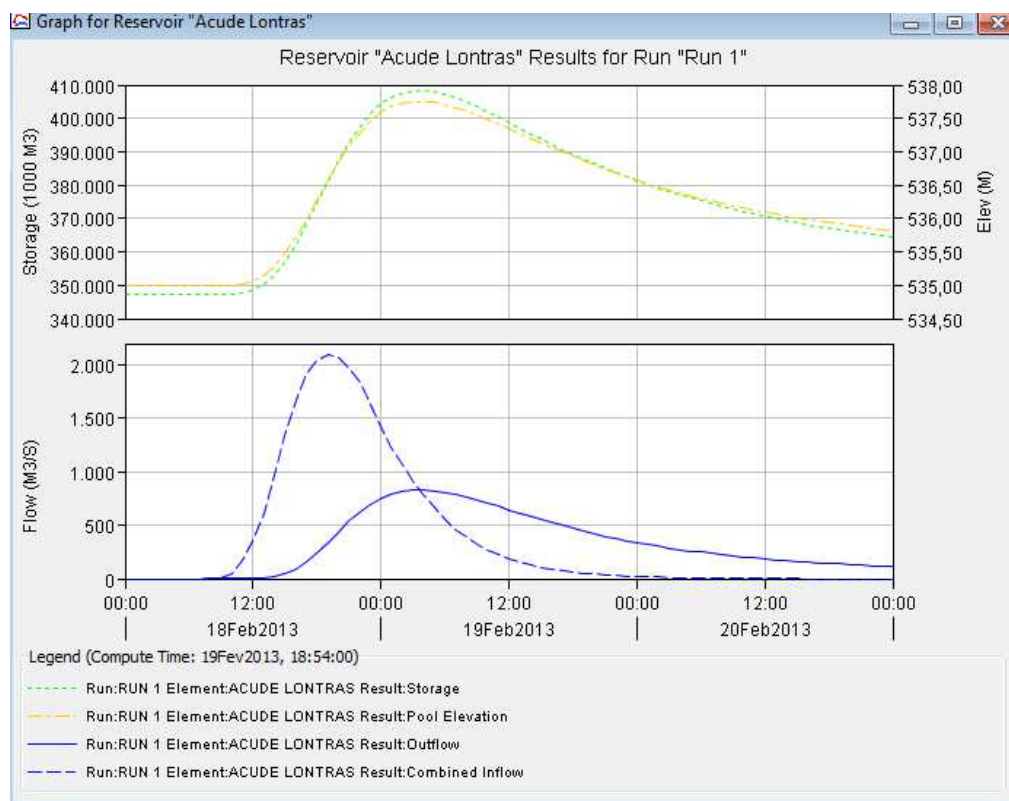


Figura 6.4 - Hidrograma do Amortecimento da Cheia Milenar no Barragem Lontras

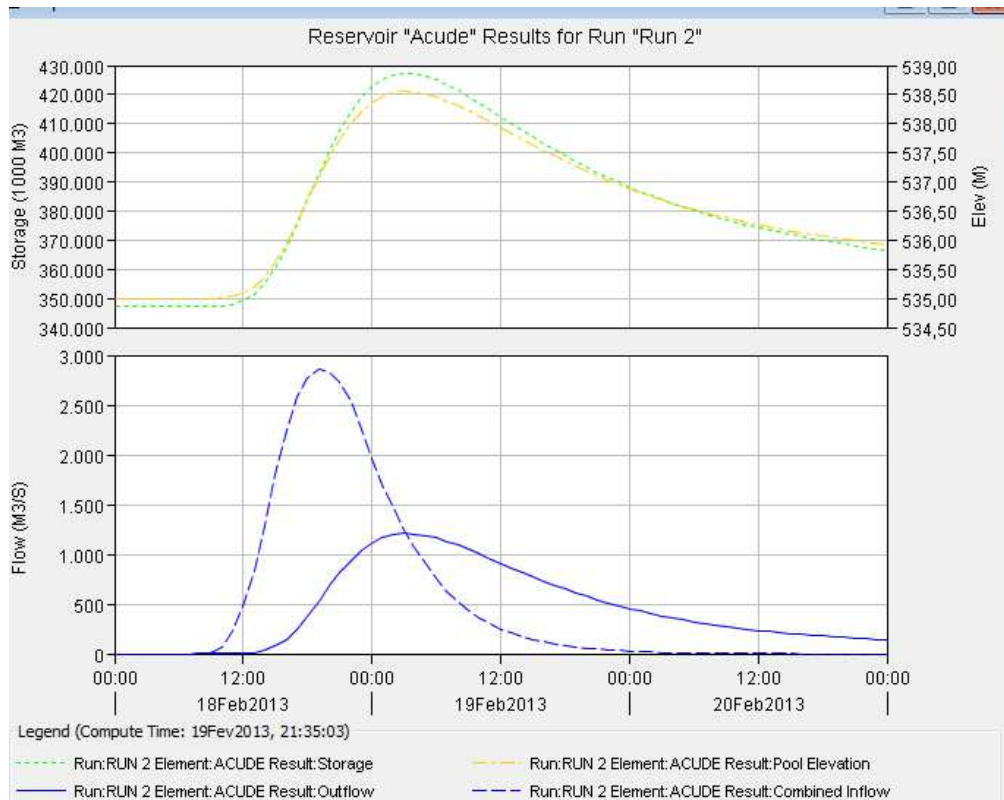


Figura 6.5 - Hidrograma do Amortecimento da Cheia Decamilenar no Barragem Lontras

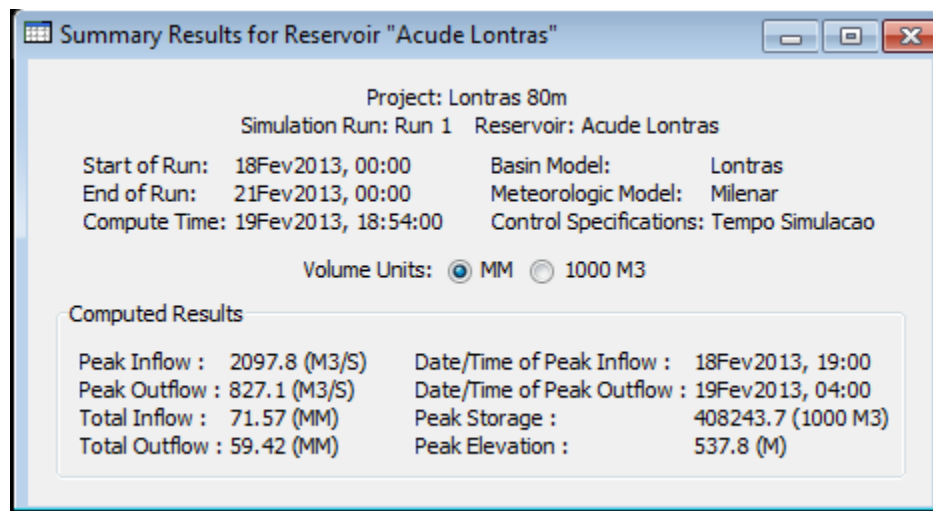


Figura 6.6 - Sumário do Amortecimento da Cheia Milenar - (L=80m)

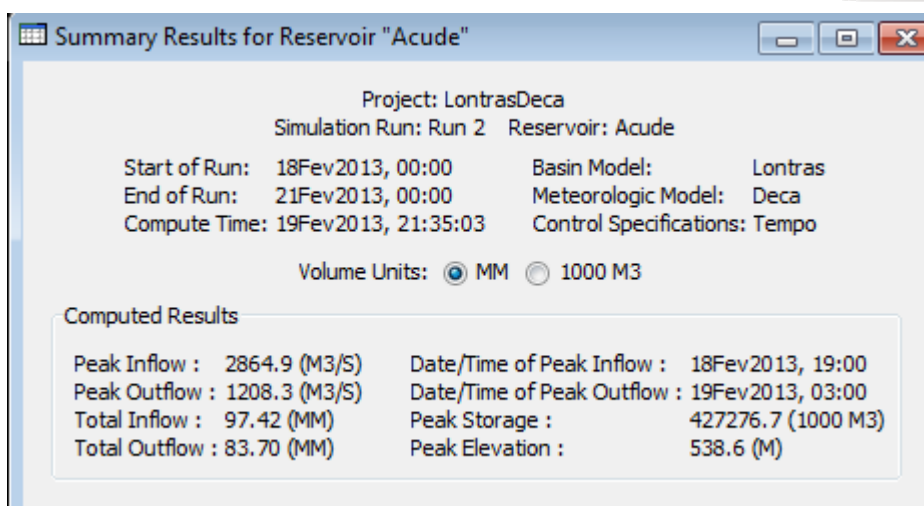


Figura 6.7 - Sumário do Amortecimento da Cheia Decamilenar - (L=80m)

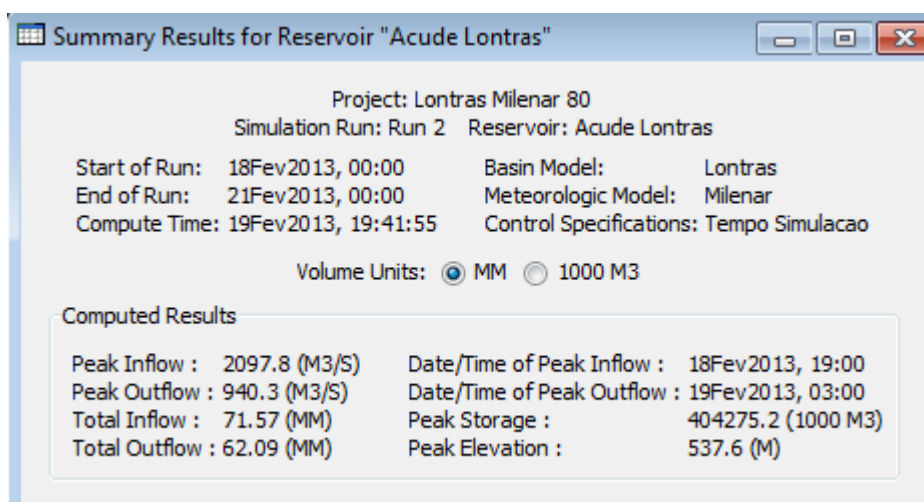


Figura 6.8 - Sumário do Amortecimento da Cheia Milenar - (L=100m)

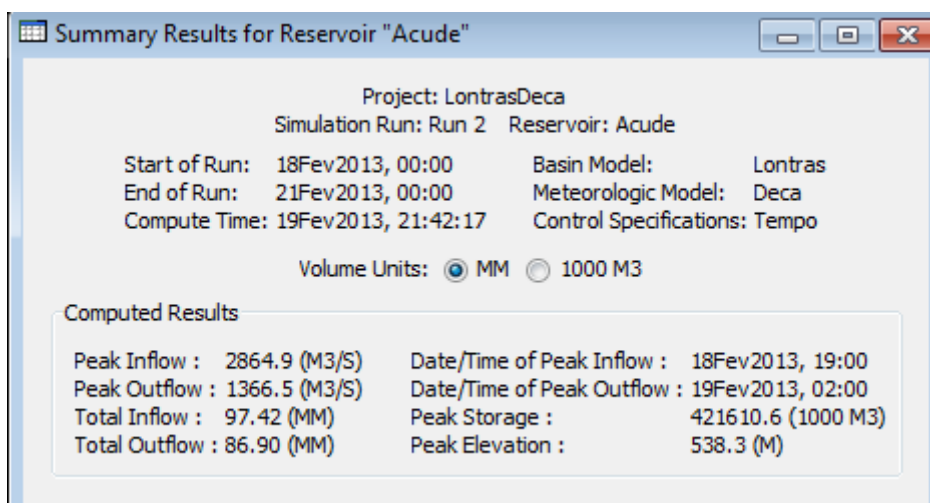


Figura 6.9 - Sumário do Amortecimento da Cheia Decamilenar - (L=100m)

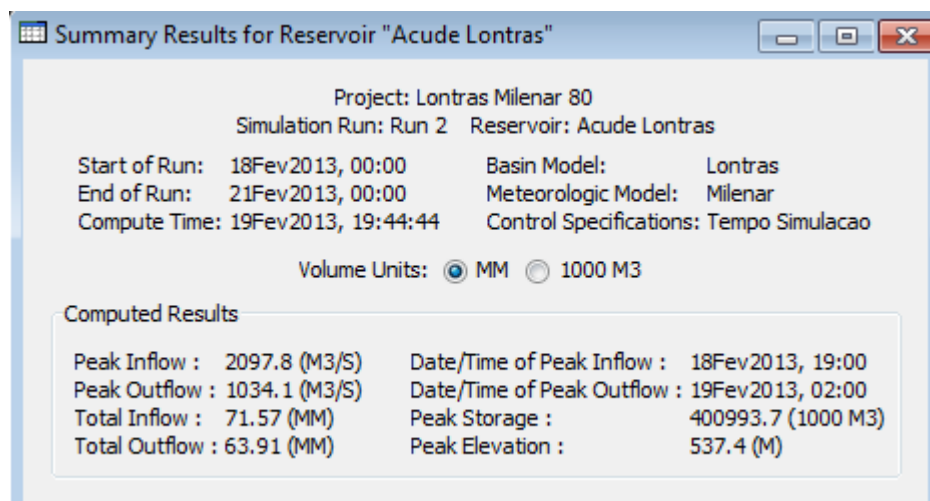


Figura 6.10 - Sumário do Amortecimento da Cheia Milenar - (L=120m)

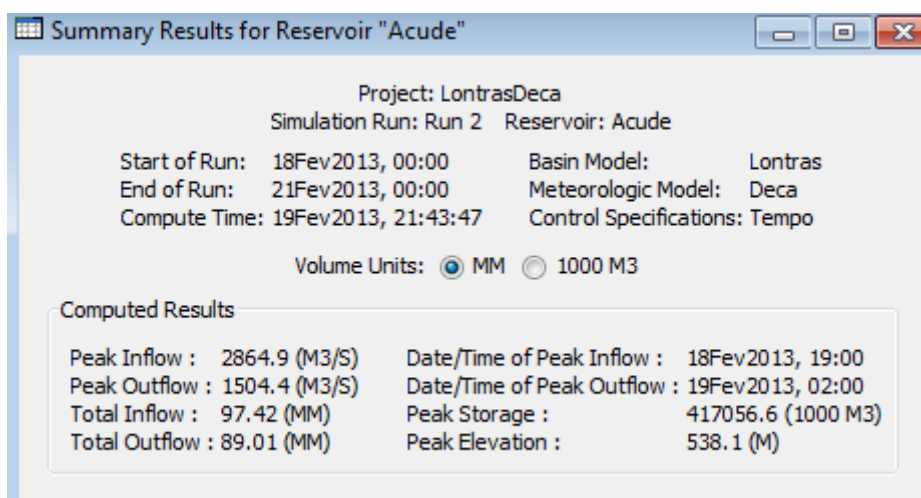


Figura 6.11 - Sumário do Amortecimento da Cheia Decamilenar - (L=120m)

7 CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivos (1) estimar a sua capacidade de regularização das barragens Inhuçu e Lontras e (2) estimar as cheias raras, com períodos de retorno iguais a 1.000 e 10.000 anos, para a verificação da segurança da barragem Lontras.

Foram simulados três cenários de topologias –, Inhuçu isolado (Cenário A) Lontras isolado (Cenário B) e os dois reservatórios em série (Cenário C). No Cenário B, adotou-se a capacidade do reservatório Lontras igual a 350 hm³ (correspondente à cota que não alaga a sede municipal de Croatá). No Cenário A, adotou-se, para o reservatório Inhuçu, a capacidade de 100 hm³ (a capacidade máxima para este reservatório seria de 180hm³). O Cenário C foi dividido em sete sub-cenários – C1 a C7 - variando-se a capacidade da barragem Lontras entre 350 e 320 hm³ e da barragem Inhuçu, entre 40 e 100 hm³, desde que o somatório das duas não excedesse a capacidade máxima conjunta de 420 hm³, estabelecida pelo Marco Regulatório (Resolução 547/2006 ANA/SRH-CE/SEMAR-PI).

Simulando-se os Cenários A, B e C para as barragens Inhuçu, Lontras, e para o Sistema formado pelos dois reservatórios em série, observou-se que, para o Sistema, independentemente da topologia adotada para o Cenário C (sete alternativas), o mesmo se comporta hidrológicamente da mesma maneira, ou seja, regulariza algo em torno de 4,3 m³/s, devido a uma compensação entre os dois reservatórios, o que tornou possível a escolha da capacidade do Inhuçu que melhor atendesse outros requisitos importantes, tais como manchas de solo. Sendo assim, o Cenário escolhido foi o C1, ou seja, aquele que considera a barragem Lontras, com 350 hm³ de capacidade, regularizando 3,2 m³/s.

Para dimensionamento dos vertedouros das duas barragens, utilizou-se o software HEC-HMS. Para a definição da largura e laminas do sangradouro da barragem Lontras considerou-se a inexistência da barragem Inhuçu a montante e simulou-se o vertedouro com três larguras – 80, 100 e 120m.

A capacidade de amortecimento da barragem Lontras se mostrou bem significativa, oscilando entre 47 a 61%. As lâminas observadas foram de 2,4 a 2,8 metros (cheia milenar) e 3,1 m (L=120m) a 3,6 m (L=80m), para a cheia decamilenar.

Observadas as considerações construtivas e aproveitamento das escavações obrigatórias, adotou-se uma largura para o sangradouro da barragem Lontras de 80 metros. Desta forma o projeto da **barragem Lontras** ficou-se com os seguintes elementos hidrológicos básicos:

Largura do sangradouro: 80,00 m

Vazão máxima efluente (1.000 anos): 2.097,8 m³/s

Vazão máxima efluente (10.000 anos): 2.864,9 m³/s

Lamina máxima (1.000 anos): 2,8 m

Lamina máxima (10.000 anos): 3,6 m

Cota da ogiva do vertedouro Creager: 535,00m



consórcio