



**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**

Procuradoria Geral do Estado

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

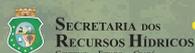
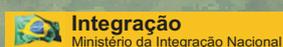
**Ministério da Integração Nacional - MI
Programa Nacional de Desenvolvimento
dos Recursos Hídricos - PROÁGUA NACIONAL -
Acordo de Empréstimo N.º.: 7420-BR - BID**

**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 A3 — ESTUDOS BÁSICOS DOS SISTEMAS

**Segundo Relatório Parcial
Tomo 1 — Texto**



consórcio

Dezembro/2011



**GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ**

Secretaria dos Recursos Hídricos

**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 A3 – ESTUDOS BÁSICOS DOS SISTEMAS

Segundo Relatório Parcial

Tomo 1 – Texto

Dezembro de 2011

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. Se diferencia 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.

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, Canal/Túnel e Penstock/PCH
 - Etapa B3 - Projeto Executivo das Barragens Lontras e Inhuçu, Canal/Túnel e Penstock/PCH
 - Etapa B4 - Manuais de Operação e Manutenção do Sistema
 - Etapa B5 - Avaliação Financeira e Econômica Final do Sistema - Barragens, Canal/Túnel e Penstock/PCH

O presente documento faz parte da Etapa A3 – Estudos Básicos e Concepções Gerais, constitui o Segundo Relatório Parcial e consolida os resultados dos estudos desenvolvidos até final de novembro de 2011 referentes àquela Etapa de Estudos.

O Segundo Relatório Parcial da Etapa A3 está dividido nos seguintes tomos:

- Tomo 1 – Texto;
- Tomo 2 – Anexos.

ÍNDICE

ÍNDICE GERAL

	Páginas
1. ESTUDOS CARTOGRÁFICOS.....	16
1.1. CARTOGRAFIA PARA O PROJETO EXECUTIVO.....	16
1.1.1. <i>Generalidades</i>	<i>16</i>
1.1.2. <i>Localização da área.....</i>	<i>16</i>
1.1.3. <i>Execução do plano de trabalho.....</i>	<i>17</i>
1.1.4. <i>Produtos finais do recobrimento aerofotogramétrico.....</i>	<i>35</i>
2. ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS.....	37
2.1. GENERALIDADES.....	37
2.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....	38
2.2.1. <i>Caracterização Física.....</i>	<i>38</i>
2.2.2. <i>Caracterização Climatológica</i>	<i>40</i>
2.2.3. <i>Regime de Chuvas</i>	<i>48</i>
2.2.4. <i>A Variabilidade Interanual das Chuvas na Bacia dos açudes Inhuçu e Lontras.....</i>	<i>54</i>
2.3. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DOS AÇUDES INHUÇU E LONTRAS.....	55
2.4. O REGIME DE CHUVAS INTENSAS NAS BACIAS DOS AÇUDES INHUÇU E LONTRAS.....	58
2.5. DETERMINAÇÃO DA DURAÇÃO DA CHUVA CRÍTICA.....	58
2.6. OS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS POTENCIALMENTE UTILIZÁVEIS.....	59
2.7. METODOLOGIA PARA CÁLCULO DAS CHUVAS INTENSAS	59
2.7.1. <i>Seleção da distribuição de probabilidades e estimativas dos valores das precipitações máximas anuais.....</i>	<i>63</i>
2.7.2. <i>Características das Séries de Chuvas Máximas com 1 dia de Duração</i>	<i>63</i>
2.7.3. <i>Chuvas máximas com durações de 24 horas.....</i>	<i>64</i>
2.7.4. <i>Chuvas Máximas com Duração de 1 hora</i>	<i>64</i>
2.7.5. <i>Conversão da chuva pontual em chuva espacial</i>	<i>65</i>
2.8. O REGIME FLUVIAL DO RIO INHUÇU (MACAMBIRA) NAS BARRAGENS INHUÇU E LONTRAS ..	71
2.8.1. <i>Dados fluviométricos disponíveis.....</i>	<i>71</i>
2.8.2. <i>Vazões em Estudos Anteriores: Análise comparativa</i>	<i>76</i>
2.9. A CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO DOS AÇUDES LONTRAS (EIXO I) E INHUÇU (EIXO SOTERO)	78
2.9.1. <i>A equação do balanço hídrico de um reservatório.....</i>	<i>78</i>
2.9.2. <i>A simulação dos reservatórios utilizando o programa simres.....</i>	<i>79</i>
2.9.3. <i>Dados de entrada do simres para Açudes Lontras i e Inhuçu-Sotero.....</i>	<i>80</i>
2.9.4. <i>Dados do TAPE3.DAT</i>	<i>80</i>

2.9.5.	<i>Dados do TAPE2.DAT</i>	80
2.9.6.	<i>As vazões regularizadas pelos reservatórios lontras e inhuçu</i>	82
2.10.	O ESTUDO DE CHEIAS E DO VERTEDOURO	86
2.10.1.	<i>A chuva de projeto</i>	87
2.10.2.	<i>O método chuva-deflúvio adotado</i>	91
2.10.3.	<i>As cheias máximas com tr = 1.000 e 10.000 anos afluentes e efluentes aos reservatórios inhuçu (eixo sotero) e lontras (Eixo I)</i>	93
2.11.	CONCLUSÕES	96
3.	CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ALTERNATIVAS A SEREM ANALISADAS	99
3.1.	ALTERNATIVAS PARA A BARRAGEM INHUÇU	99
3.1.1.	<i>Eixo Da Barragem</i>	99
3.1.2.	<i>Seção Tipo Do Maciço</i>	100
3.1.3.	<i>Arranjo Geral das Obras Principais</i>	103
3.2.	ALTERNATIVAS PARA A BARRAGEM LONTRAS	103
3.2.1.	<i>Eixo da Barragem</i>	103
3.2.2.	<i>Seção Tipo Do Maciço</i>	105
3.2.3.	<i>Arranjo Geral das Obras Principais</i>	108
3.3.	UTILIZAÇÃO DA ÁGUA REGULARIZADA PELOS AÇUDES LONTRAS E INHUÇU	109
4.	ESTUDOS TOPOGRÁFICOS	112
4.1.	TRANSPORTE DE COTAS E DE COORDENADAS	112
4.1.1.	<i>Planejamento</i>	113
4.1.2.	<i>Sistema Geodésico Empregado</i>	113
4.1.3.	<i>Vértices Oficiais Utilizados no Apoio Básico</i>	116
4.1.4.	<i>Monumentação e Implantação dos vértices da Rede de Apoio Básico</i>	117
4.1.5.	<i>Determinação das coordenadas dos pontos do Apoio Suplementar</i>	121
4.1.6.	<i>Determinação das Altitudes Ortométricas do Pontos de Apoio Básico</i>	122
4.1.7.	<i>Determinação das Altitudes Ortométricas do Pontos de Apoio Suplementar</i>	123
4.1.8.	<i>Software Utilizado</i>	128
4.1.9.	<i>Diferenciais da metodologia aplicada na aerotriangulação</i>	129
4.1.10.	<i>Etapas do processo de aerotriangulação</i>	129
4.1.11.	<i>Análise da Qualidade da Aerotriangulação e Resultados Obtidos</i>	133
4.2.	LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL, VERTEDOIRO E ADUÇÃO	134
4.3.	LOCAÇÃO E NIVELAMENTO DA POLIGONAL DO CANAL DE SANGRIA E DA CALHA DO RIO	135
4.4.	LEVANTAMENTO DE JAZIDAS (MALHA 100 X 100)	135
4.5.	SECCIONAMENTO DO EIXO E SANGRADOIRO	135

5. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS	138
5.1. SONDAgens PERCUSSIVAS E ROTATIVAS	139
5.2. ENSAIOS LABORATORIAIS	142
6. CONCLUSÕES	147

ÍNDICE DAS FIGURAS

	Páginas
FIGURA 1.1: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.	17
FIGURA 1.2: EXEMPLO DO PLANO DE VÔO ELABORADO NO SOFTWARE POSTRACKER.....	18
FIGURA 1.3: COMPOSIÇÃO DO SISTEMA DE ORIENTAÇÃO.....	21
FIGURA 1.4: INSTALAÇÃO DO IMU NA CÂMERA	22
FIGURA 1.5: CÂMERA SOBRE A PLATAFORMA GSM3000	22
FIGURA 1.6: TELA DO TRACKER DO PILOTO	23
FIGURA 1.7: CÂMERA, PLATAFORMA E UNIDADE DE ARMAZENAMENTO	23
FIGURA 1.8: ILUSTRAÇÃO DA EXECUÇÃO DE VÔO APOIADO COM GPS. CONSTELAÇÃO DE SATÉLITE E GPS DE SOLO.	24
FIGURA 1.9: AERONAVE EMBRAER, MODELO EMB-820C CARAJÁ, PREFIXO PT-VDT.	24
FIGURA 1.10: CDX (COMPUTER & DATA UNIT), DX (DATA UNIT) E DKX (DOCKING STATION)	26
FIGURA 1.11: SX (SENSOR UNIT) E IPX (INTERFACE PANEL)	27
FIGURA 1.12: SENSORES DA ULTRACAM-X E 09 IMAGENS PANCRÔMICAS DE ALTA RESOLUÇÃO COMPOSTA EM UMA ÚNICA IMAGEM DE GRANDE FORMATO.	28
FIGURA 1.13: COMPOSIÇÃO DA SEQUENCIA DE TOMADA DE UMA FOTOGRAFIA (FUNCIONAMENTO DE CADA SENSOR) DURANTE O VÔO.	28
FIGURA 1.14: CARREGANDO IMAGENS BRUTAS (NÍVEL 0).	29
FIGURA 1.15: IMAGENS EM PROCESSAMENTO DO NÍVEL 0 PARA O NÍVEL 2.	30
FIGURA 1.16: CARREGANDO IMAGENS PRÉ-PROCESSADAS (NÍVEL 2)	31
FIGURA 1.17: NIVELAMENTO RADIOMÉTRICO DAS IMAGENS.	31
FIGURA 2.1: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO EM RELAÇÃO À BACIA DO POTI E ÀS SUAS BACIAS VIZINHAS NO ESTADO DO CEARÁ.....	39
FIGURA 2.2: HIDROGRAFIA DA BACIA DOS AÇUDES INHUÇU E LONTRAS	40
FIGURA 2.3: LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS DE SOBRAL E CRATEÚS EM RELAÇÃO À BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO INHUÇU/LONTRAS (RETÂNGULO EM VERMELHO).....	41
FIGURA 2.4: TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÉDIAS E MÍNIMAS NA ÁREA EM ESTUDO (EM °C).....	42

FIGURA 2.5: UMIDADE RELATIVA (%) NA ÁREA EM ESTUDO.....	43
FIGURA 2.6 - EVAPORAÇÃO MÉDIA MENSAL NA ÁREA EM ESTUDO.....	45
FIGURA 2.7: EVAPOTRANSPIRAÇÃO MENSAL MÉDIA NA ÁREA EM ESTUDO ESTIMADA POR HARGREAVES E PENMAN-MONTHEITH (MM).....	46
FIGURA 2.8: INSOLAÇÃO MENSAL MÉDIA NA ÁREA EM ESTUDO (HS).....	47
FIGURA 2.9: VELOCIDADE MÉDIA DOS VENTOS NA ÁREA EM ESTUDO (M/S).....	48
FIGURA 2.10: ISOIETAS DAS BACIAS DO POTI, ACARÁ E COREÁU (RETÂNGULO EM VERMELHO MARCA A ÁREA EM ESTUDO).....	49
FIGURA 2.11: POLÍGONO DE THIESSEN DA ÁREA EM ESTUDO, COM AS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DE CADA POSTO.....	51
FIGURA 2.12: O REGIME DE CHUVAS NO POSTO GUARACIABA DO NORTE	53
FIGURA 2.13: O REGIME DE CHUVAS NO POSTO CARNAUBAL	53
FIGURA 2.14: O REGIME DE CHUVAS NO POSTO CROATÁ.....	54
FIGURA 2.15: PRECIPITAÇÕES ANUAIS NOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS CROATÁ E GUARACIABA DO NORTE.....	55
FIGURA 2.16: CURVA COTA (M) X VOLUME (HM³) DO AÇUDE LONTRAS (EIXO I).....	57
FIGURA 2.17: CURVA COTA (M) X VOLUME (HM³) DO AÇUDE INHUÇU (EIXO SOTERO).....	57
FIGURA 2.18: ISOZONAS DE IGUAL RELAÇÃO	62
FIGURA 2.19: CURVA INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA A BACIA DO AÇUDE INHUÇU COM TR= 1.000 E 10.000 ANOS, UTILIZANDO O POSTO GUARACIABA DO NORTE.	67
FIGURA 2.20: CURVA INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA A BACIA DO AÇUDE LONTRAS COM TR= 1.000 E 10.000 ANOS, UTILIZANDO O POSTO GUARACIABA DO NORTE.....	68
FIGURA 2.21: CURVA INTENSIDADE-DURAÇÃO-FREQUÊNCIA PARA A BACIA DO AÇUDE LONTRAS (ÁREA LIVRE A JUSANTE DO AÇUDE INHUÇU) COM TR= 1.000 E 10.000 ANOS, UTILIZANDO O POSTO CROATÁ.....	69
FIGURA 2.22: VAZÕES MÉDIAS MENSAIS AFLUENTES À BARRAGEM LONTRAS (EIXO I) (HM³)	75
FIGURA 2.23: VAZÕES MÉDIAS MENSAIS AFLUENTES À BARRAGEM INHUÇU (EIXO SOTERO) (HM³)	75
FIGURA 2.24: VAZÕES REGULARIZADAS PELOS AÇUDES LONTRAS I E INHUÇU-SOTERO (E PELO SISTEMA) NOS CENÁRIOS A, B E C (EM HM³)	84
FIGURA 2.25: NÍVEL DE OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO (EM HM³) E GARANTIA ASSOCIADA A RETIRADA DE 3,0M³/S.	86
FIGURA 2.26: CHUVA BALANCEADA DE 18 HORAS PARA TR=1.000 ANOS PARA INHUÇU-SOTERO	89

FIGURA 2.27: CHUVA BALANCEADA DE 18 HORAS PARA $Tr=10.000$ ANOS PARA INHUÇU-SOTERO	89
FIGURA 2.28: CHUVA BALANCEADA DE 14 HORAS PARA $Tr=1.000$ ANOS PARA LONTRAS I- ÁREA LIVRE	90
FIGURA 2.29: CHUVA BALANCEADA DE 14 HORAS PARA $Tr=10.000$ ANOS PARA LONTRAS I- ÁREA LIVRE	91
FIGURA 2.30: HIDROGRAMA UNITÁRIO SINTÉTICO DO SOIL CONSERVATION SERVICE.....	91
FIGURA 3.1: OMBREIRA ESQUERDA DO EIXO LONTRAS, ONDE FOI OBSERVADO INDÍCIOS DE ANOMALIAS GEOLOGICAS QUE PODERIAM CONDICIONAR O PROJETO DA BARRAGEM.	104
FIGURA 3.2: ALTERNATIVA DE ADUÇÃO PARA UTILIZAÇÃO NA BACIA DO MACAMBIRA/INHUÇU	110
FIGURA 4.1: MODELO DE CHAPA E CROQUI DOS MARCOS DE CONCRETO IMPLANTADOS.....	118
PRÉ-SINALIZAÇÃO DO APOIO SUPLEMENTAR.....	120
FIGURA 4.2: DIMENSÕES DAS MARCAS DE SINALIZAÇÃO DO APOIO SUPLEMENTAR.	120
FIGURA 4.3: GCP-07	121
FIGURA 4.4: GCP-09	121
FIGURA 4.5: VARIAÇÃO DAS ONDULAÇÕES DO GEÓIDE EM SIRGAS2000	124
FIGURA 4.6: DISTRIBUIÇÃO DO ERRO PADRÃO OBTIDO A PARTIR DA COMPARAÇÃO ENTRE ESTAÇÕES GPS E RN'S	125
FIGURA 4.7: PARÂMETROS DE ORIENTAÇÃO EXTERIOR.	127
FIGURA 4.8: ELEMENTOS NECESSÁRIOS À ORIENTAÇÃO EXTERIOR E SUA OBTENÇÃO DIRETA DURANTE O VOO PARA O EMPREGO DO MÉTODO ISO - INTEGRATED SENSOR ORIENTATION NA AEROTRIANGULAÇÃO.....	128
FIGURA 4.9: EXEMPLO DA DISTRIBUIÇÃO AUTOMÁTICA DOS PONTOS DE ENLACE GERADOS NO SOFTWARE MATCH-AT, APÓS O PROCESSO DE CORRELAÇÃO AUTOMÁTICA.....	131
FIGURA 4.10: EXEMPLO DA DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE APOIO INSERIDOS NO BLOCO DE AEROTRIANGULAÇÃO.	132
FIGURA 4.11: EXEMPLO DA ANÁLISE GRÁFICA DA DISTRIBUIÇÃO E AMARRAÇÃO DOS TIE POINTS. CADA VETOR (COR AZUL) REPRESENTA A LIGAÇÃO ENTRE OS PONTOS DE ENLACE E SUAS RESPECTIVAS LEITURAS NOS MODELOS. NOTA-SE PELO GRANDE VOLUME DE PONTOS DETERMINADOS, A ALTA RIGIDEZ E EFICIÊNCIA DO MODELO MATEMÁTICO DE CORRELAÇÃO DO MATCH-AT.....	133

ÍNDICE DOS QUADROS

	Páginas
QUADRO 2.1: CARACTERÍSTICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MACAMBIRA NOS EIXOS BARRÁVEIS	39
QUADRO 2.2: CARACTERÍSTICAS DAS ESTAÇÕES CLIMATOLÓGICAS SOBRAL E CRATEÚS.....	41
QUADRO 2.3: UMIDADE RELATIVA NA ÁREA EM ESTUDO (EM %).....	42
QUADRO 2.4: UMIDADE RELATIVA (%) NA ÁREA EM ESTUDO	43
QUADRO 2.5: EVAPORAÇÃO MENSAL MÉDIA NA ÁREA EM ESTUDO (MM) ATMÔMETRO PICHÉ.....	44
QUADRO 2.6: EVAPOTRANSPIRAÇÃO MENSAL MÉDIA NA ÁREA EM ESTUDO ESTIMADA POR HARGREAVES E PENMAN-MONTHEITH (MM).....	46
QUADRO 2.7: INSOLAÇÃO MENSAL MÉDIA NA ÁREA EM ESTUDO (HS)	47
QUADRO 2.8: VELOCIDADE MÉDIA DOS VENTOS NA ÁREA EM ESTUDO (M/S)	47
QUADRO 2.9: POSTOS PLUVIOMÉTRICOS E EXTENSÕES DAS SÉRIES HISTÓRICAS	50
QUADRO 2.10. PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL SOBRE A BACIA DOS AÇUDES INHUÇU E LONTRAS.....	51
QUADRO 2.11: CARACTERÍSTICAS DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS CROATÁ, GUARACIABA DO NORTE E CARNAUBAL	52
QUADRO 2.12: PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS CROATÁ, GUARACIABA DO NORTE E CARNAUBAL	52
QUADRO 2.13: CURVA COTA (M) X VOLUME (HM³) DO AÇUDE LONTRAS (EIXO I).....	56
QUADRO 2.14: CURVA COTA (M) X VOLUME (HM³) DO AÇUDE INHUÇU (EIXO SOTERO)	56
QUADRO 2.15: CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS AÇUDES LONTRAS I E INHUÇU-SOTERO	59
QUADRO 2.16: POSTOS PLUVIOMÉTRICOS E EXTENSÕES DAS SÉRIES HISTÓRICAS	59
QUADRO 2.17: 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	63
QUADRO 2.18: ESTATÍSTICAS BÁSICAS DA SÉRIE DE PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS COM DURAÇÃO DE 1 DIA PARA OS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS GUARACIABA DO NORTE E CROATÁ.....	64
QUADRO 2.19: PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS PARA Tr = 1.000 E 10.000 ANOS COM DURAÇÃO DE 24HORAS (EM MILÍMETROS) NOS POSTOS CROATÁ E GUARACIABA DO NORTE	64

QUADRO 2.20: 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	65
QUADRO 2.21: 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 AÇUDE INHUÇU (POSTO GUARACIABA DO NORTE)	65
QUADRO 2.22: 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 AÇUDE LONTRAS (SEM AÇUDE INHUÇU A MONTANTE) (POSTO GUARACIABA DO NORTE)	66
QUADRO 2.23: 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 AÇUDE LONTRAS (COM AÇUDE INHUÇU A MONTANTE) (POSTO CROATÁ)	66
QUADRO 2.24: DISTRIBUIÇÃO ACUMULADA DA CHUVA SOBRE AS BACIAS DOS AÇUDES LONTRAS E INHUÇU, A CADA INTERVALO DE 1 HORA	70
QUADRO 2.25: CARACTERÍSTICAS DO POSTO FLUVIOMÉTRICO CROATÁ	71
QUADRO 2.26: CARACTERÍSTICAS DAS SÉRIES AFLUENTES AO POSTO FLUVIOMÉTRICO CROATA E AOS AÇUDES LONTRAS (EIXO I) E INHUÇU (EIXO SOTERO)	72
QUADRO 2.27: SÉRIE HISTÓRICA DE VAZÕES (M³/S) NO POSTO FLUVIOMÉTRICO CROATÁ (HIDROWEB – ANA)	72
QUADRO 2.28: SÉRIE DE VAZÕES AFLUENTES AO AÇUDE LONTRAS (EIXO I) EM HM³/ANO	73
QUADRO 2.29: SÉRIE DE VAZÕES AFLUENTES AO AÇUDE INHUÇU (EIXO SOTERO) EM HM³/ANO	74
QUADRO 2.30: VAZÕES MÉDIAS MENS AIS AFLUENTES ÀS BARRAGENS INHUÇU E LONTRAS (HM³)	75
QUADRO 2.31: LAMINA (EM MM) E COEFICIENTE DE ESCOAMENTO (EM MM) NOS TRÊS ESTUDOS AVALIADOS.....	77
QUADRO 2.32: VAZÕES MÉDIAS AFLUENTES ANUAIS ÀS BARRAGENS INHUÇU-SOTERO E LONTRAS I (HM³)	77
QUADRO 2.33: EVAPORAÇÃO LÍQUIDA DO LAGO DOS RESERVATÓRIOS INUNÇU-SOTERO E LONTRAS I	81
QUADRO 2.34: CAPACIDADES ADOTADAS NOS CENÁRIOS A, B E C (EM HM³).....	81
QUADRO 2.35: VAZÕES REGULARIZADAS PELOS AÇUDES LONTRAS I E INHUÇU-SOTERO (E PELO SISTEMA) NOS CENÁRIOS A, B E C (EM HM³)	83
QUADRO 2.36: NÍVEL DE OPERAÇÃO DO RESERVATÓRIO (EM HM³) E GARANTIA ASSOCIADA A RETIRADA DE 3,0M³/S	85
QUADRO 2.37: DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DAS PRECIPITAÇÕES INCREMENTAIS AO LONGO DE 18 HORAS (EM MM) CONSIDERANDO O INTERVALO DE DURAÇÃO DE 1 HORA – INHUÇU-SOTERO	88

QUADRO 2.38: DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DAS PRECIPITAÇÕES INCREMENTAIS AO LONGO DE 14 HORAS (EM MM) CONSIDERANDO O INTERVALO DE DURAÇÃO DE 1 HORA – LONTRAS I – ÁREA LIVRE	90
QUADRO 2.39: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS RESERVATÓRIOS LONTRAS E INHUÇU	93
QUADRO 2.40: VAZÕES DE PICO DOS HIDROGRAMAS AFLUENTES E EFLUENTES PARA $Tr = 1.000$ E 10.000 ANOS, LÂMINA SOBRE A SOLEIRA DO VERTEDOIRO E NÍVEL DE AMORTECIMENTO DO AÇUDE INHUÇU (EIXO SOTERO), CONSIDERANDO A LARGURA DO VERTEDOIRO 150, 170 E 200M.	94
QUADRO 2.41: VAZÕES DE PICO DOS HIDROGRAMAS AFLUENTES E EFLUENTES PARA $Tr = 1.000$ ANOS, LÂMINA SOBRE A SOLEIRA DO VERTEDOIRO E NÍVEL DE AMORTECIMENTO DO AÇUDE LONTRAS (EIXO I), CONSIDERANDO A LARGURA DO VERTEDOIRO ENTRE 80 E 200M (AÇUDE INHUÇU COM $L=150M$).	95
QUADRO 2.42: VAZÕES DE PICO DOS HIDROGRAMAS AFLUENTES E EFLUENTES PARA $Tr = 10.000$ ANOS, LÂMINA SOBRE A SOLEIRA DO VERTEDOIRO E NÍVEL DE AMORTECIMENTO DO AÇUDE LONTRAS (EIXO I), CONSIDERANDO A LARGURA DO VERTEDOIRO ENTRE 80 E 200M (AÇUDE INHUÇU COM $L=150M$).	95
QUADRO 3.1: COMPARATIVA DE CUSTOS RELATIVOS.....	102
QUADRO 3.2: COMPARATIVA DE CUSTOS RELATIVOS.....	107
QUADRO 4.1: RESUMO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS – SIRGAS2000 E ALTITUDES ORTOMÉTRICAS	119
QUADRO 4.2: QUADRO RESUMO DOS PONTOS DE APOIO SUPLEMENTAR.	122
QUADRO 4.3: QUADRO RESUMO CÁLCULO DA ALTITUDE ORTOMÉTRICA (N) DO APOIO SUPLEMENTAR	126

1. ESTUDOS CARTOGRÁFICOS

1. ESTUDOS CARTOGRÁFICOS

1.1. CARTOGRAFIA PARA O PROJETO EXECUTIVO

1.1.1. Generalidades

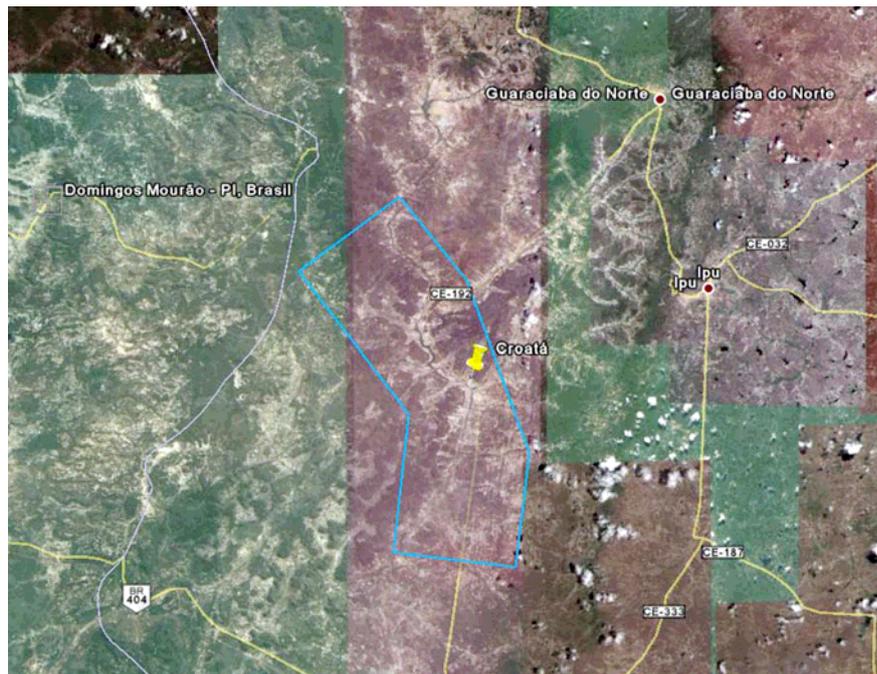
Os estudos para cobertura e restituição aerofotogramétrica para área da Ibiapaba foram contratados pelo Consórcio ENGESOFT/IBI e encontram-se em fase final de desenvolvimento objeto de sub-contrato com a empresa TOPOCART TOPOGRAFIA ENGENHARIA E AEROLEVANTAMENTOS S/S LTDA.

Em outubro de 2011 foi concluída a fase de Cobertura aerofotogramétrica, base para o mapeamento aerofotogramétrico na escala 1:5.000.

Nos sub-tópicos seguintes estão descritos os procedimentos metodológicos, a execução e os resultados dos levantamentos realizados.

1.1.2. Localização da área

Os levantamentos foram executados numa área de aproximadamente 382 km² de cobertura aérea e 200 Km² de restituição, situada no estado do Ceará, abrangida pelo enquadramento geográfico de $\varphi=04^{\circ}12' S$, $\lambda =41^{\circ}10' WGr.$, e $\varphi=04^{\circ}36' S$, $\lambda =40^{\circ}44' WGr$, visando à implantação de obras de engenharia do Projeto do Eixo de Integração da Ibiapaba. A **Figura 1.1** ilustra sua localização.



Fonte: Google Earth.

Figura 1.1: Localização da área.

1.1.3. Execução do plano de trabalho

1.1.3.1. Planejamento da Cobertura Aerofotogramétrica

A etapa inicial dos trabalhos de cobertura aerofotogramétrica consistiu da elaboração do plano de vôo (Gráfico e Analítico). O objetivo principal foi a definição da melhor geometria de recobrimento aéreo de tal forma a permitir a completa estereoscopia de toda a área de interesse. Para tanto, fez-se um estudo do polígono da região sobre a cartografia existente.

Além disso, são tomadas as providências administrativas necessárias para a obtenção da Autorização de Aerolevanteamento junto ao Ministério da Defesa, inclusive de informações da base de operação principais e alternativas para a aeronave.

A elaboração do plano de vôo foi realizada no software POSTracker, que também é o sistema de gerenciamento de vôo que foi usado a bordo do avião. Nesse momento também são analisadas no programa as altitudes de vôo para cada faixa. O planejamento do vôo foi projetado para uma resolução final no terreno (GSD) de 15 cm.

Ao final dessa etapa foram obtidas de forma digital todas as informações gráficas e analíticas necessárias para a execução da missão fotogramétrica.

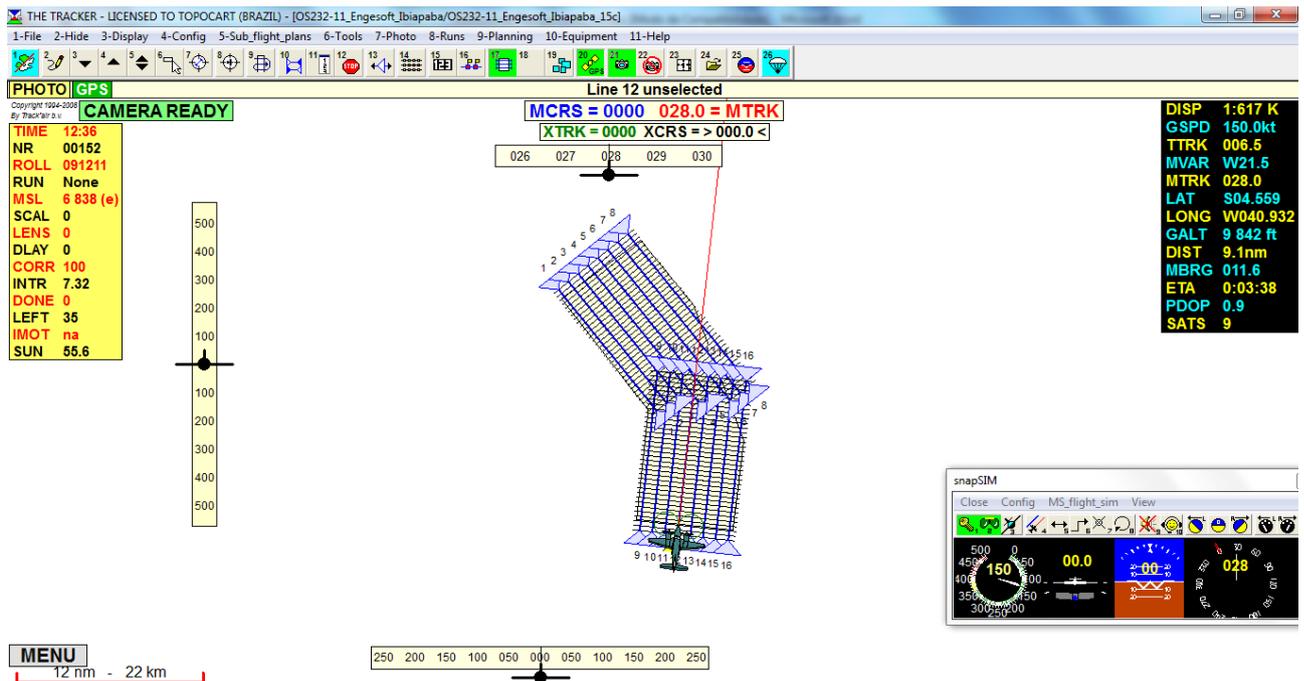


Figura 1.2: Exemplo do plano de vôo elaborado no software POTracker

1.1.3.2. Execução da Cobertura

A cobertura aerofotogramétrica com resolução de 15 cm foi executada com direção das linhas de vôo no sentido em que melhor se ajustava à área de estudo, recobrando lateralmente em 30% e longitudinalmente em 60%, garantindo a superposição estereoscópica entre os modelos formados por estas fotos.

As especificações do vôo foram ajustadas em função da Câmera Aerofotogramétrica adotada, levando em consideração as especificações constantes em Termo de Referência.

A cobertura foi executada utilizando uma aeronave de fabricação Embraer, modelo EMB-820C Carajá, cujo registro é 820147, Matrícula de identificação PT-VDT, 02 (dois) motores turbo hélice, especialmente adaptada à tomada de fotografias aéreas, equipada com piloto automático, rastreador de satélites de posicionamento do sistema NAVSTAR – GPS, radar para navegação e com autonomia de 4h30min.

Para execução da cobertura aérea com precisão a aeronave foi especialmente preparada com equipamentos de alta sensibilidade para aquisição de dados de posicionamento preciso no momento da tomada das fotos, conforme descrito a seguir:

- **Câmera aérea digital de grande formato:** de fabricação da Microsoft Vexcel modelo UltraCam-X. Possui quadro de aquisição de imagem com 14330 x 9420 pixels (141 megapixel) dispostos por 13 conjuntos de sensores CCD. Esta câmera é acompanhada de duas unidades de armazenamento com redundância de gravação capaz de arquivar até 6600 imagens. Os sensores captam as imagens em 5 bandas (PAN, R, G, B e NIR) em 16 bits e o sistema de compensação de arraste é feito de forma totalmente eletrônica através do dispositivo Time Delayed Integration (TDI).
- **Plataforma giro-estabilizada:** de fabricação Somag Ag Jena modelo GSM - 3000 sobre o qual a câmera é montada, o que permite compensar as oscilações da aeronave durante o voo fotogramétrico a uma taxa de 15°/seg e aceleração de até 300°/seg². Além disso, a plataforma corrige a deriva ocasionada por ventos laterais a partir de informações da Unidade de Medição Inercial - IMU, garantindo uma melhor verticalidade e geometria das faixas de voo;
- **Sistema de Gerenciamento do Voo Fotogramétrico:** denominado POSTrack que possibilita o planejamento da missão fotogramétrica, definindo as coordenadas de disparo de cada foto, garantindo o recobrimento longitudinal (60% - entre fotos) e lateral (30% - entre faixas contíguas).
- Durante a missão o sistema permite a visualização do voo simultaneamente pelo piloto (touchscreen) e pelo operador (laptop) possibilitando a seleção das faixas de voo e definição da melhor manobra para cada entrada e saída de faixa. Além disso, o sistema monitora os parâmetros necessários à boa qualidade do voo, tais como: visualização em tempo real da qualidade das imagens digitais, ajustes de contraste e brilho, presença de nuvens, qualidade e continuidade dos dados GNSS/IMU e funcionamento da plataforma;
- **Unidade de Medição Inercial:** fabricado pela Applanix, modelo AV 510, esse sistema adquire e grava durante o voo os ângulos de giros residuais (não absorvidos pela plataforma) a uma taxa de 250 Hz com uma precisão de 0,005°, pós-processado, por meio de uma sistema triplo de giroscópios. O sistema também possui um receptor GNSS geodésico de dupla frequência L1/L2 que grava os sinais da constelação de satélites a uma taxa de 1 Hz e que permite uma precisão final DGPS abaixo de 10 cm no posicionamento do centro perspectivo das fotos.

Durante a execução do recobrimento aéreo foram observados todos os critérios necessários para a sua realização, tais como:

- Recobrimento lateral de 30% e longitudinal de 60%, nunca ultrapassando 3% de erro;
- O ângulo de rotação horizontal (deriva) entre exposições consecutivas deve ser mantido o menor possível, sendo admitida como tolerância a média de 2° por faixa, em casos isolados pode-se chegar a 3%;
- Correção do desvio de rumo, de maneira a não ultrapassar 2° (dois graus sexagesimais), como discrepância máxima entre duas fotografias;
- A altitude média de vôo não variando mais que 5%;
- Tomada de fotografias aéreas com o Sol superior a 30° (trinta graus sexagesimais) da linha do horizonte para regiões planas e 45° (quarenta e cinco graus sexagesimais) para regiões montanhosas.

1.1.3.3. *Sistema de Georreferenciamento Direto*

Todo esse conjunto de sistemas acoplados à câmera fotográfica tem a finalidade de orientação das fotografias eliminando ou diminuindo significativamente a necessidade de aerotriangulação. Quando descrevemos a metodologia de vôo apoiado ou georreferenciamento direto, significa obter todos os dados de orientação dos modelos ou parâmetros de recessão espacial, diretamente durante o vôo fotogramétrico.

O conjunto funciona totalmente integrado através de uma unidade de controle que centraliza todas as informações coletadas pelo receptor GNSS e pelo IMU e o próprio sistema emite sinais eletrônicos para os demais componentes, sendo estes disparados automaticamente.

A seqüência inicia-se no sistema de navegação do avião, que coleta as coordenadas e envia para a tela do Tracker que monitora o vôo. Quando o operador seleciona uma faixa para vôo, o piloto guia a aeronave nesta direção corrigindo conforme orientação na tela de controle instalada no Manche do avião. Ao passar pela posição projetada para a fotografia, o sistema Tracker emite um sinal para a câmera e esta dispara automaticamente. Neste momento do disparo, o IMU (sistema inercial) que está instalado dentro da câmera, registra os ângulos de inclinação do avião (κ , ϕ e ω) e emite os valores para a plataforma GSM300 que se movimenta em sentidos opostos compensando os ângulos tornando a câmera nivelada. Como ainda persiste algum

resíduo dos ângulos de atitude da câmera, o IMU registra estes valores para posterior orientação dos modelos na restituição.

Também no mesmo instante da tomada da fotografia, a câmera emite um sinal para o receptor GNSS geodésico de dupla frequência constante da unidade PCS da Applanix onde registra o instante "t" em fração de segundos da tomada da fotografia. A deriva também é validada pelo sistema e corrigida automaticamente.

A sequência das **Figuras 1.3 a 1.9**, apresentadas a seguir ilustra o sistema completo descrito anteriormente e detalha melhor a instalação do conjunto dentro da aeronave, bem como os braços de alavanca existentes entre os centros de cada medida.

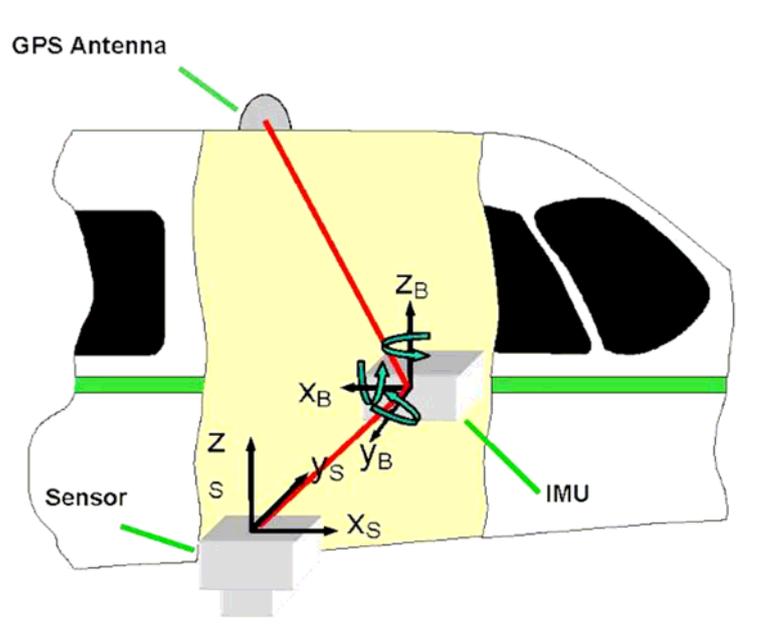


Figura 1.3: Composição do sistema de orientação.

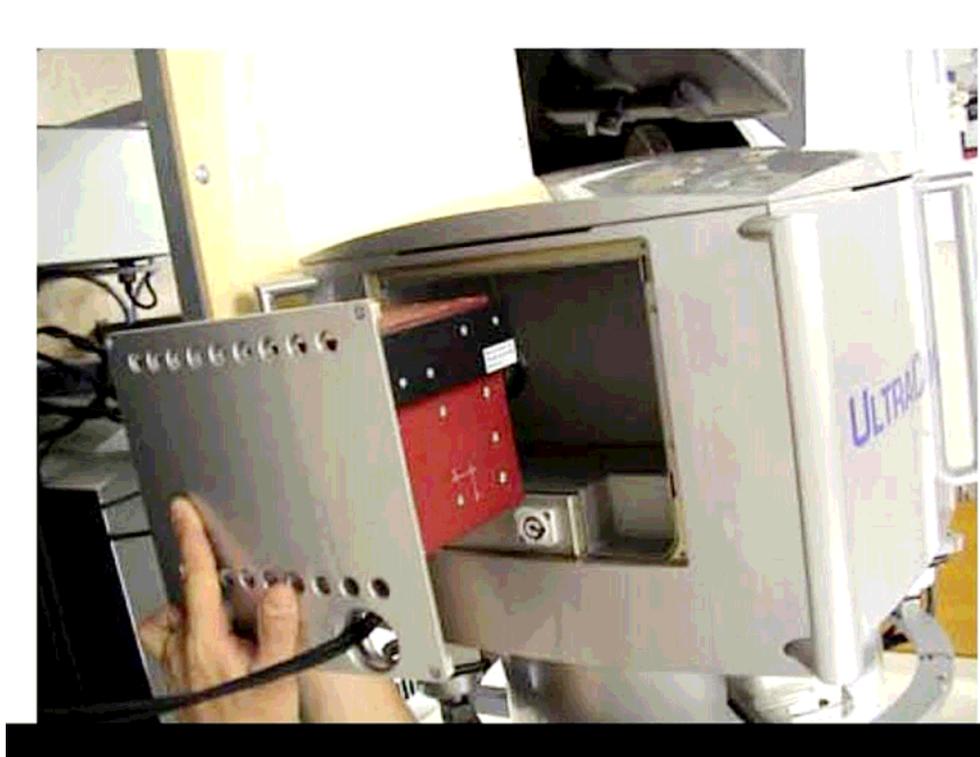


Figura 1.4: Instalação do IMU na câmera



Figura 1.5: Câmera sobre a plataforma GSM3000



Figura 1.6: Tela do Tracker do piloto



Figura 1.7: Câmera, plataforma e unidade de armazenamento

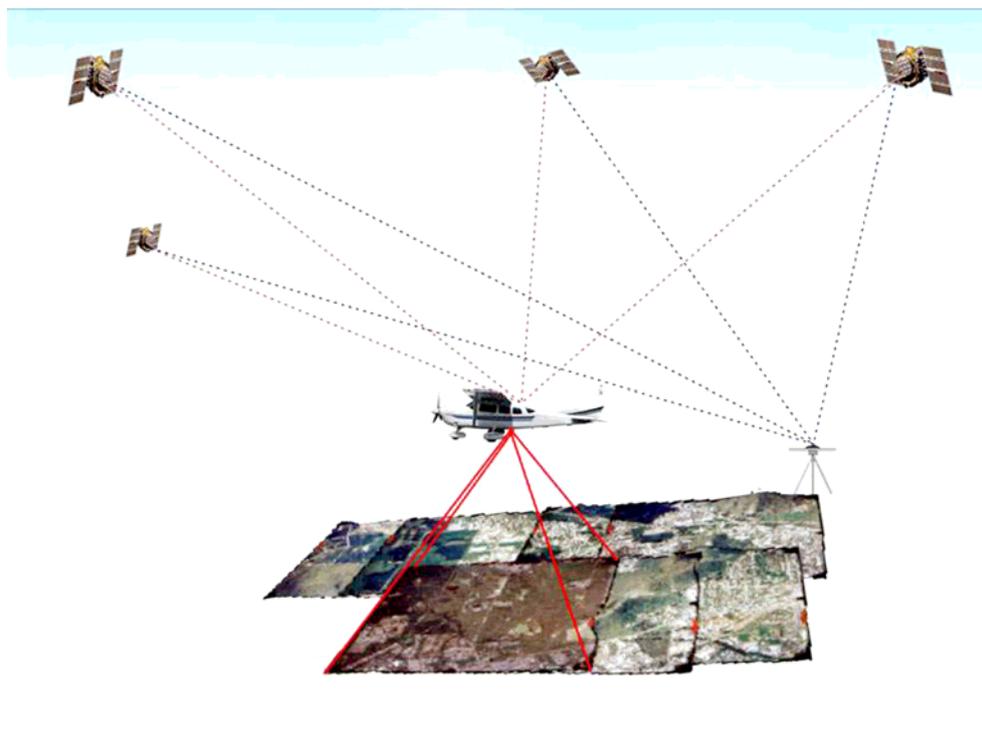


Figura 1.8: Ilustração da execução de vôo apoiado com GPS. Constelação de satélite e GPS de solo.



Figura 1.9: Aeronave Embraer, modelo EMB-820C CARAJÁ, prefixo PT-VDT.

Todo esse conjunto de metodologias requer uma série de procedimentos de forma que tudo funcione plenamente e que os resultados obtidos sejam satisfatórios conforme exigências de precisão do trabalho. Principalmente seguir rigorosamente todas as etapas especificadas pelos

fabricantes dos sistemas que garantem a precisão quando seguidas as especificações mínimas exigidas.

1.1.3.4. *Processamento Dados GPS/IMU*

Os dados gravados no PC Card durante o vôo são extraídos e o processamento é feito no software POSPAC MMS 5.2, que possui uma solução integrada GPS/IMU. Usando poderosos algoritmos como solução GNSS e filtro de Kalman ao final do processo são obtidos os elementos de orientação exterior X, Y, Z dos centros perspectivos e os ângulos ω , φ e κ para cada imagem, com alta precisão.

Com esse processo a quantidade de pontos de apoio suplementar ou fotogramétrico necessários para a aerotriangulação diminui muito, uma vez que os dados precisos de posição do centro de perspectiva da câmera juntamente com os dados de rotação do IMU possibilitam precisão adequada com um número mínimo de pontos de apoio.

Porém, apesar de não ser necessária a aerotriangulação, a mesma será realizada a fim de proporcionar maior confiança sobre os produtos derivados desta etapa, utilizando para isso, coordenadas terrestres, de apoio fotogramétrico, pré-sinalizadas e identificáveis nas imagens, como será mostrado mais adiante.

1.1.3.5. *Processamento das Imagens*

– **Obtenção das Imagens**

As imagens são obtidas através do SX (Sensor Unit) que corresponde ao coração do sistema, pois este é responsável pela captura das imagens de alta resolução. A unidade contém um total de 08 conjuntos ópticos e 13 sensores CCD e todo sistema recebe alimentação de energia da CDX (Computer & Data Unit), e está instalado sobre a plataforma para compensação dos ângulos (ω , φ e κ) observados durante o vôo fotogramétrico.

Durante a execução da cobertura aérea, a cada tomada de foto, são armazenados os dados brutos (13 arquivos que compõem a foto de alta resolução e 2 arquivos que compõem as informações do vôo) na unidade denominada CDX. Esta unidade de armazenamento possui arquitetura capaz de suportar as condições adversas do vôo, tais como turbulência, variações de temperatura e pressão. Os dados são armazenados na unidade denominada DX (Data Unit), que

posteriormente são transferidas para outros computadores para o processamento propriamente dito. A unidade DX possui alta capacidade de armazenamento, além de contar com um espelho dos dados em outra unidade similar para backup.

O CDX é composto por 14 unidades modulares de processamento, sendo cada constituída de uma CPU. Uma delas gerencia o software da UltraCAM-X e as outras 13 trabalham simultaneamente no pré-processamento, armazenamento e visualização da imagem na tela denominada IPX (Interface Panel) no instante do registro da fotografia. Esta visualização tem a finalidade de ajustar os padrões de cores, luminosidade, brilho, tempo de exposição e outros para melhorar a qualidade da imagem.

Concluído o vôo, já com a aeronave em solo e todos os instrumentos desligados, retira-se uma das unidades de armazenamento DX para descarregar as imagens no computador do escritório. Esta transferência se dá com a conexão de 04 cabos conectados à placa mãe do computador e a DKX (Docking Station). Nesta é encaixada a unidade DX, onde são conectados e transferidos os dados armazenados.



Figura 1.10: CDX (Computer & Data Unit), DX (Data Unit) e DKX (Docking Station)



Figura 1.11: SX (Sensor Unit) e IPX (Interface Panel)

– **Processamento das Imagens**

O processamento consiste no emprego de técnicas especiais onde todo o conjunto de arquivos (no total de 15 arquivos) são unidos formando apenas 01 imagem de alta resolução. Os arquivos que compõem uma imagem de alta resolução dividem-se em: 09 imagens PAN obtidas por cada CCD de alta resolução, 03 imagens RGB, 01 infravermelho e mais 02 arquivos de informações das imagens. Para este processo, utiliza-se o software específico da Microsoft Vexcel denominado Office Processing Center V3.1.4 - OPC.

As **Figuras 1.12 e 1.13**, a seguir ilustram os sensores da UltraCam-X e as etapas de tomada de fotografias compondo os arquivos citados anteriormente.

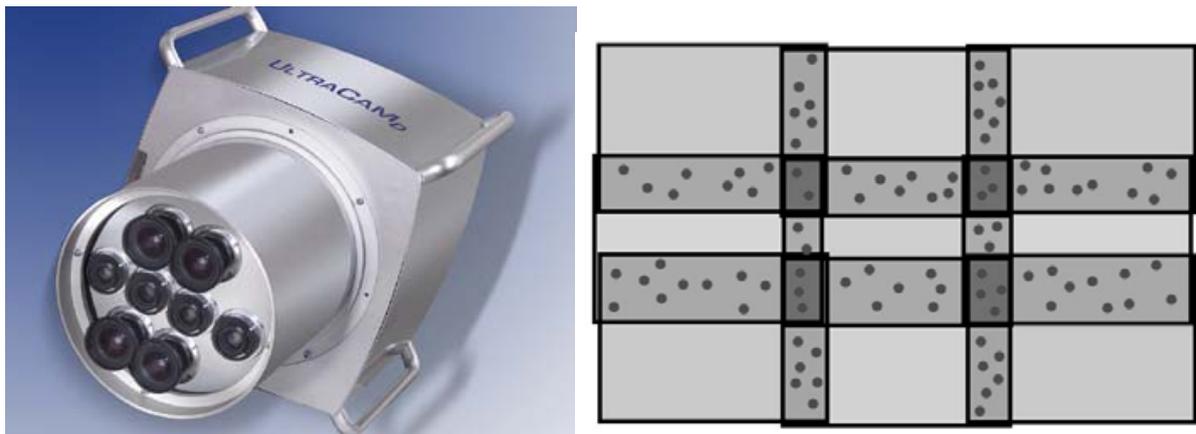


Figura 1.12: Sensores da UltraCam-X e 09 imagens Pancromáticas de alta resolução composta em uma única imagem de grande formato.



Figura 1.13: Composição da sequencia de tomada de uma fotografia (funcionamento de cada sensor) durante o voo.

No software de processamento Office Processing Center V3.1.4 - OPC, se procede a carga das imagens através de seus 15 arquivos (13 de imagens e 02 de informações) para iniciar o processamento. Neste ponto (imagens brutas), é considerado o nível “zero” (0) do processamento, onde executado o mesmo, passa-se para o nível “dois” (2), que consiste na fusão das 09 imagens de alta resolução em apenas uma de grande formato PAN, 01 imagem colorida multiespectral RGB de menor resolução e 01 infravermelho também de menor resolução.

Deste ponto em diante, são definidos os parâmetros de processamento por imagem, faixa ou bloco que permitam melhorar as condições de contraste, brilho, realce, entre outros, ou seja, é

feito o ajuste radiométrico. Concluído esta fase, denominamos o nível “três” (3), onde se obtém a imagem final colorida de alta resolução e exportação desta nos formatos *.TIFF ou *.JPG, a critério do software a ser utilizado.

A seguir apresentamos algumas telas do software de processamento Office Processing Center V3.1.4 - OPC, e suas etapas até a obtenção do produto final.

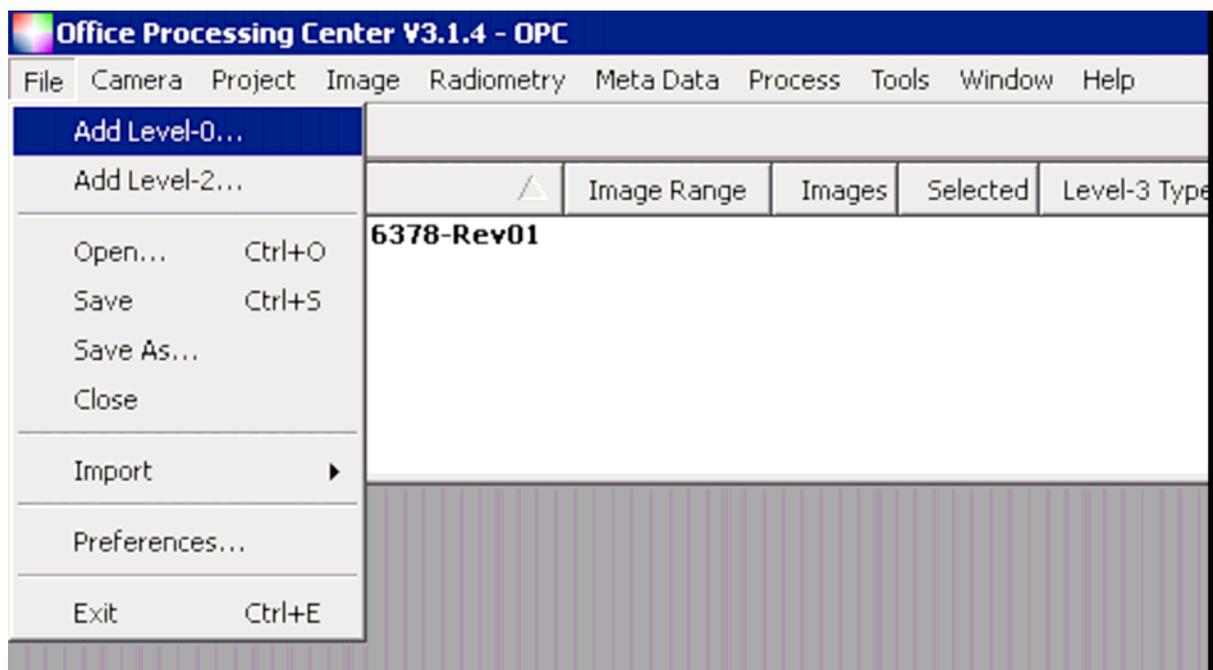


Figura 1.14: Carregando imagens brutas (nível 0).

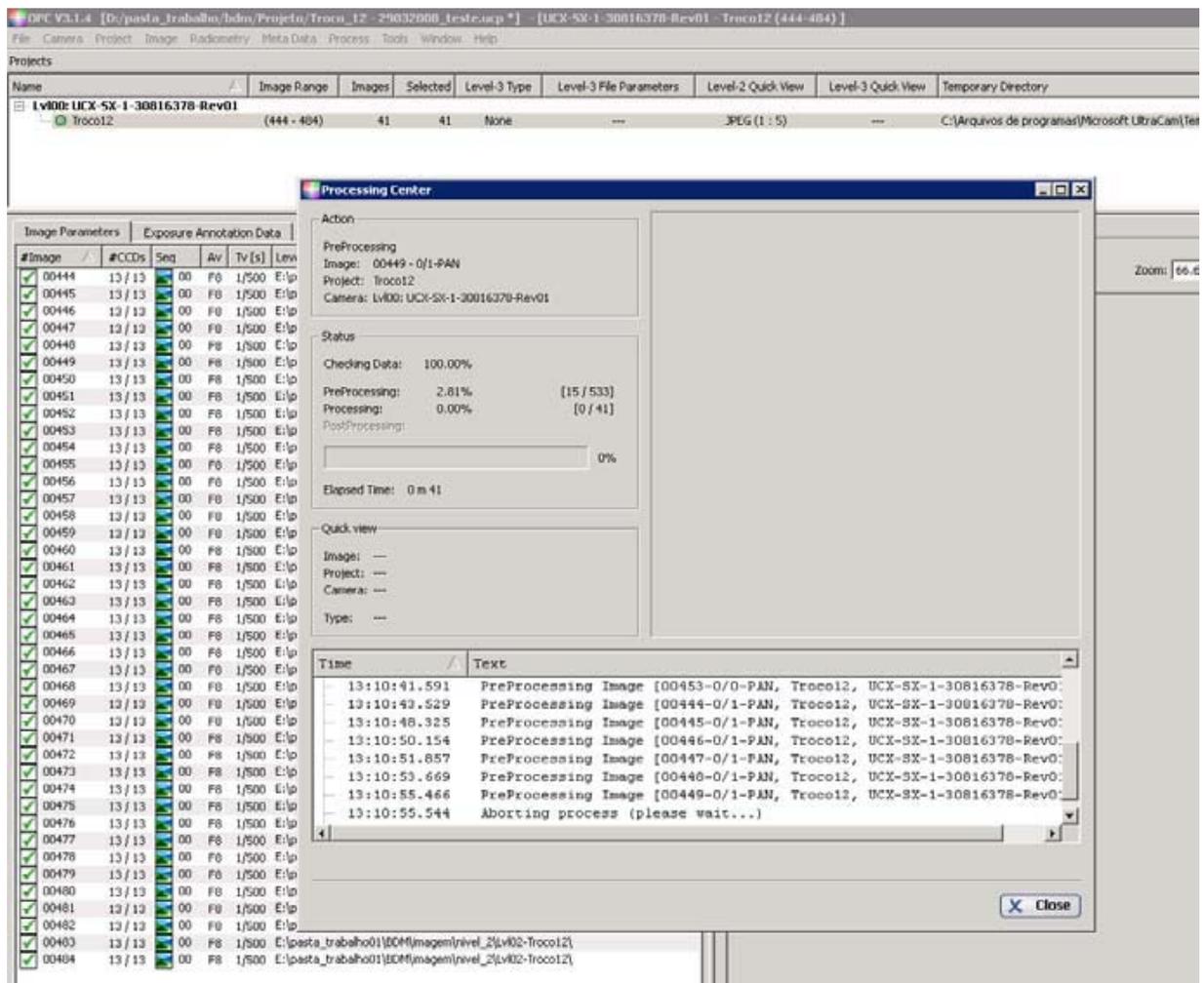


Figura 1.15: Imagens em processamento do nível 0 para o nível 2.

Esta etapa de processamento consiste na aerotriangulação das pequenas imagens obtidas em cada CCD, utilizando os arquivos de informações das imagens e parâmetros internos do equipamento, permitindo a fusão em apenas uma imagem de alta resolução.

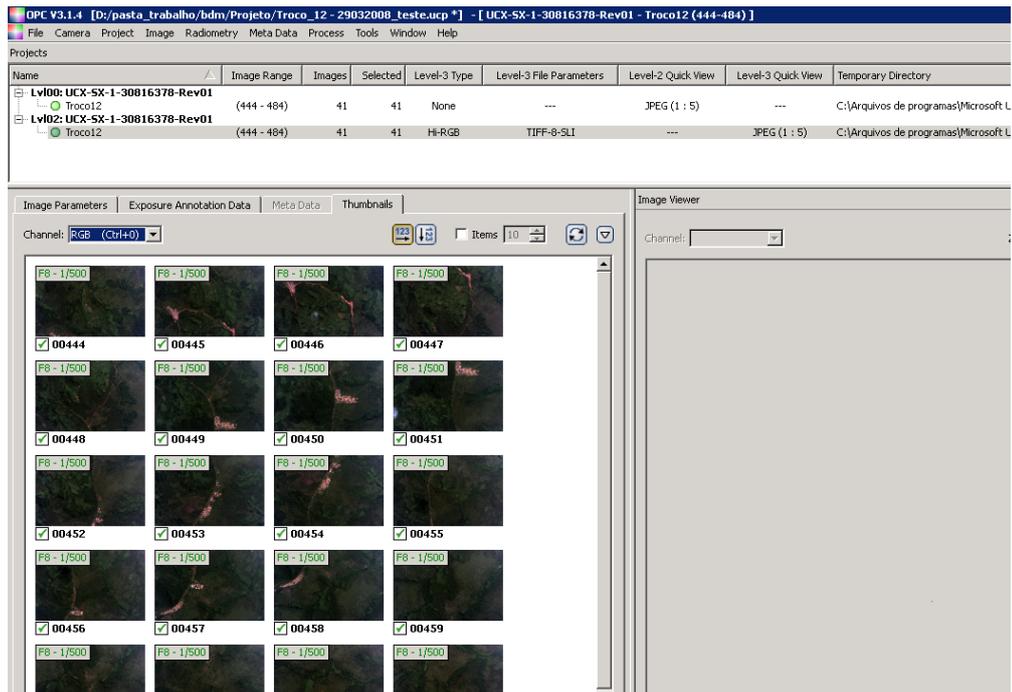


Figura 1.16: Carregando imagens pré-processadas (nível 2)

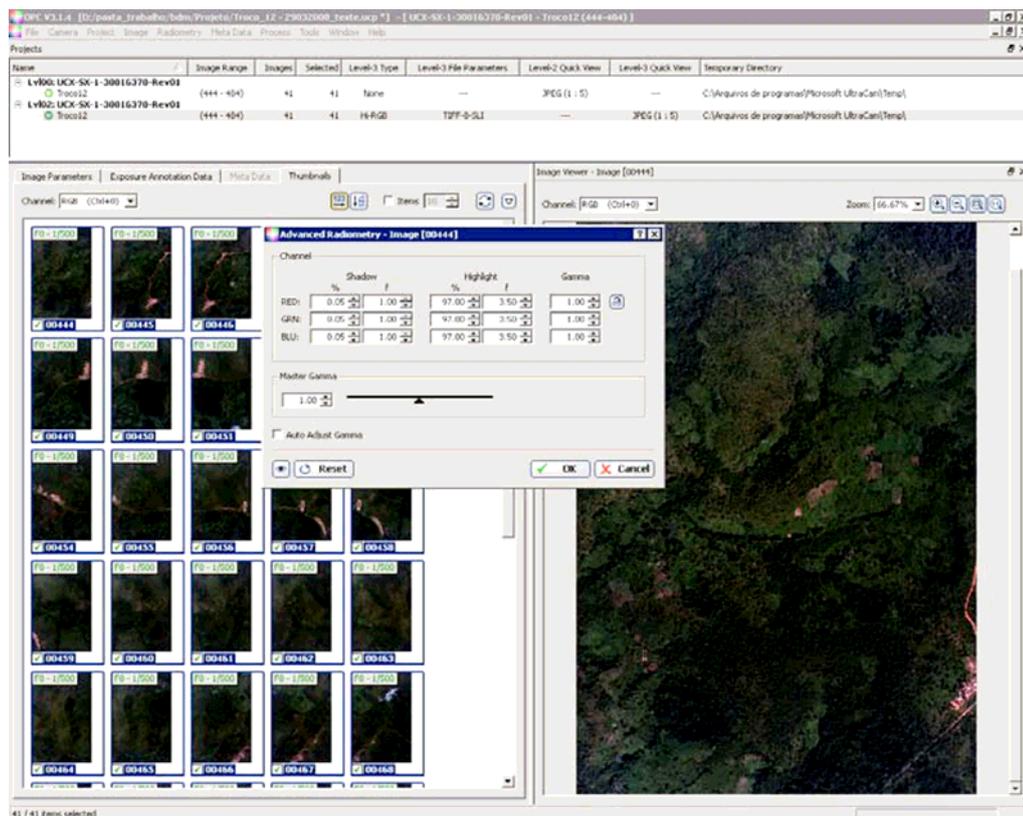


Figura 1.17: Nivelamento Radiométrico das imagens.

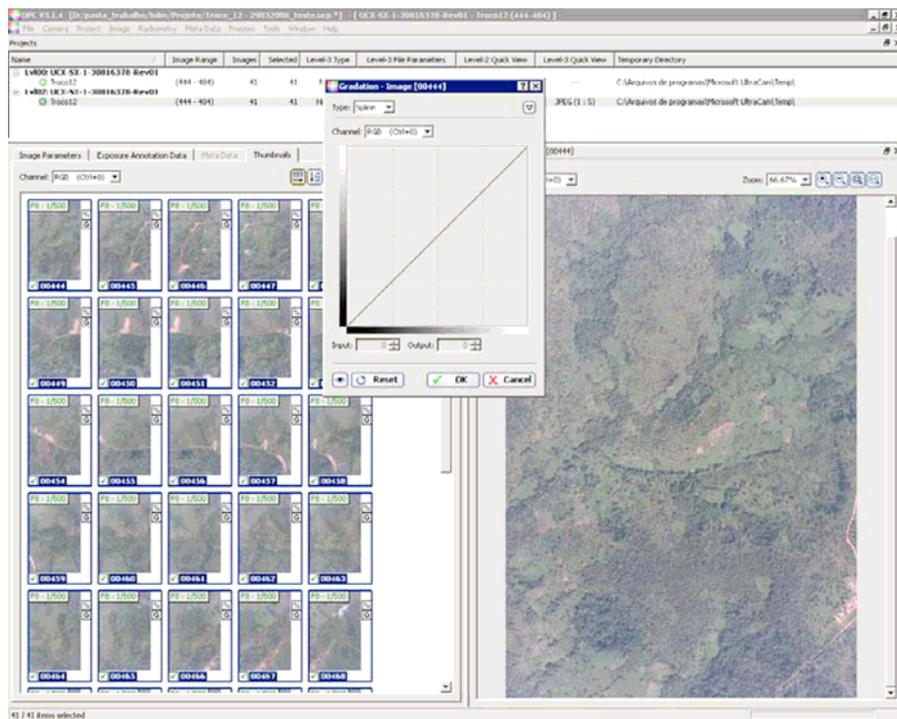


Figura 1.18: Ajuste de melhor histograma para cada conjunto de imagens.

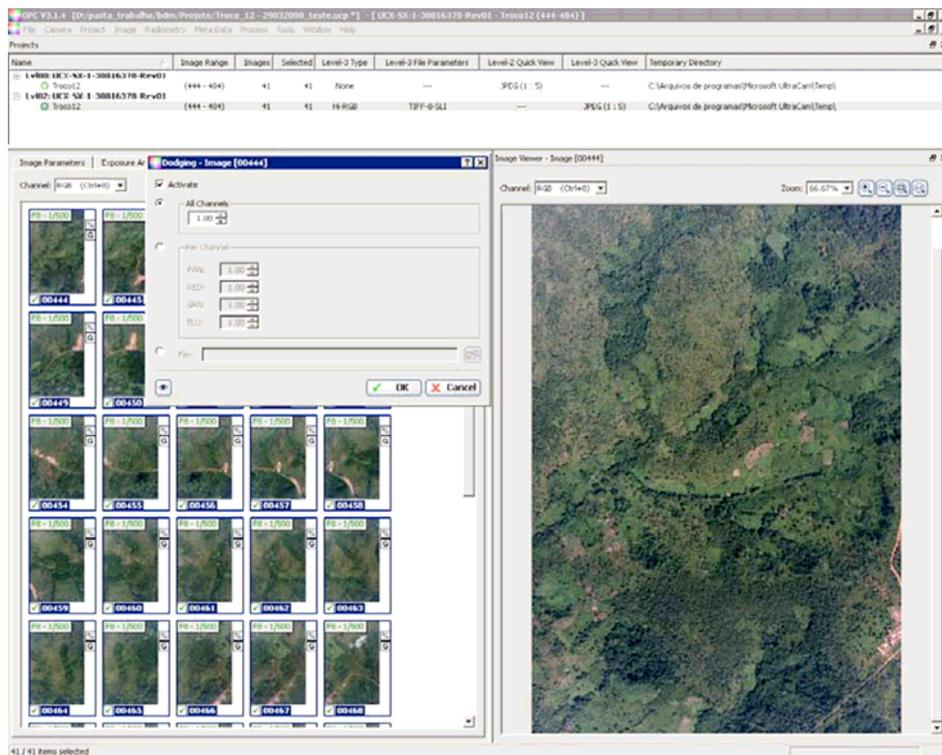


Figura 1.19: Aplicando filtros especiais para melhoramento da imagem. Nesse caso, eliminação de névoa.

Configurados todos os parâmetros conforme figuras ilustrativas anteriormente chegam-se ao final do processamento com a imagem colorida em alta resolução, estando disponível para continuidade do trabalho (aerotriangulação, DTM, restituição e ortofoto).

– **Análise da Qualidade Geométrica da Cobertura**

Finalizada a etapa de Vôo, para verificação dos parâmetros de Recessão Espacial foi utilizado o software Application Master 5.2 da Info, onde são importadas as imagens e os dados (coordenadas dos CP's e os ângulos de rotação da câmera) obtidos pelo Sistema GNSS/IMU da Applanix. Com estes dados o Application Master 5.2 monta na tela do computador um mosaico das imagens dispostas seguindo perfeitamente a geometria do vôo, podendo ser avaliados os seguintes aspectos:

- Verificação de superposição: são observadas as superposições laterais e longitudinais;
- Verificação de deriva e atitude da câmera: são observados os níveis de deriva possivelmente não compensados pela plataforma e os ângulos ômega e phi.
- Verificação do eixo de vôo: os detalhes dos eixos de vôo lançados sobre as cartas foram localizados nas fotos para a verificação do afastamento do eixo de vôo;
- Verificação da escala: a verificação da escala foi feita através da correspondência de distância entre detalhes retirados do material fornecido pelo cliente, onde foram traçadas as linhas de vôo, e medidos nas fotografias do recobrimento aéreo.
- Resultados obtidos:
- Quanto à superposição: Verificou-se que todas as fotos possuem superposição compatível com os valores projetados;
- Quanto à deriva e atitude: os valores encontrados estão perfeitamente dentro dos níveis aceitáveis, apresentando magnitudes muito pequenas, isto devido ao perfeito funcionamento da plataforma;
- Quanto ao eixo de vôo: Observou-se que neste aspecto o trabalho atingiu 100% das faixas exatamente na linha de vôo traçada anteriormente no plano de vôo gráfico, depois de ser utilizada na programação dos receptores de navegação GPS com a inserção das coordenadas geográficas para melhor controle de atitude da aeronave. O motivo de tal precisão deu-se devido à utilização do sistema de navegação TRACKER32, de orientação e

verificação da posição dos centros de projeção de cada fotografia que foram calculados e enviados à tripulação, na forma de coordenadas geográficas.

- Quanto à escala de vôo: Foram retiradas de cada faixa, no plano de vôo gráfico, as cotas mais elevadas e as menos elevadas da região fotografada, o que no final desta operação gerou uma cota média entre as faixas de vôo.

Após nossa verificação e aprovação, as exposições e as faixas foram codificadas, bem como a identificação de algumas feições cartográficas presentes na região, que servem de orientação no índice de fotografias.

1.1.3.6. *Elaboração dos Fotoíndices*

Para elaboração do fotoíndice foram utilizadas as imagens digitais, provenientes do processamento descrito anteriormente. Após o tratamento das imagens, as mesmas foram montadas em faixas, de acordo com o plano de vôo, mantendo-se as imagens sem recorte e visível a identificação do número da foto.

O fotoíndice foi reproduzido na escala 1:50.000, padrão CIM e articulados para o formato A1-ABNT. Foram enquadradas por coordenadas geográficas e plano retangulares, através de cruzetas desenhadas nos quatro cantos de cada quadrícula e posteriormente plotados em papel sulfite e fotográfico.

Nos fotoíndices constam as seguintes informações:

- Número de cada exposição que o compõem, número das faixas, escala da foto, escala do fotoíndice;
- Mapa de localização contendo o polígono das áreas de vôo;
- Toponímia relativa aos principais cursos d'água, rodovias e cidades;
- Articulação do fotoíndice.

1.1.4. Produtos finais do recobrimento aerofotogramétrico

- 01 (uma) coleção digital de todas as imagens brutas coloridas, gravadas em meio digital;
- 01 (um) foto-índice, em escala legível, articulado, se necessário; e
- 01 (uma) via do Relatório Técnico, impresso e em extensão .pdf, contendo todas as etapas inerente a etapa.

2. ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

2. ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

2.1. GENERALIDADES

Este capítulo compila os resultados dos Estudos Hidrológicos do sistema abastecido pelas barragens Lontras e Inhuçu/Sotero e apresenta os estudos realizados no mês de novembro de 2011, que complementam o Relatório dos Estudos Hidroclimatológicos das bacias da área de influência do estudo da Ibiapaba.

O Estudo Hidrológico tem duplo objetivo :

- Estimar as cheias afluentes e efluentes aos açudes 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 do açudes Inhuçu e Lontras, de forma isolado e em conjunto, para uma garantia anual de 90%

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

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

O rio Macambira (Inhuçu/Lontras) 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.14º 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 .

Considerando-se o Cenário A, 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.

No Cenário B, o Açude Inhuçu (barramento único) será simulado com capacidade de acumulação igual a 100hm³ 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).

Os estudos de caracterização climatológica, pluviométricos e de chuvas intensas foram apresentados no Primeiro Relatório Parcial da Etapa III.

A seguir encontram-se os estudos fluviométricos, de regularização e de cheias do projeto Ibiapaba.

2.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

2.2.1. Caracterização Física

O Rio Macambira (Inhuçu/Lontras), afluente do Rio Poti, fica localizado na Serra da Ibiapaba, na porção oeste do Estado do Ceará. Desde a sua nascente até do local Eixo barrável Inhuçu-Sotero, o Rio Macambira 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 I, drenando uma área livre (não controlada pelo barramento Inhuçu-Sotero, a montante) de 567 Km². As principais características da bacia hidrográfica do Rio Macambira, 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-Sotero	847,0	50	320
B	Lontras I	1.414,0	75	400
C	Lontras I (área livre)	587,0	25	80

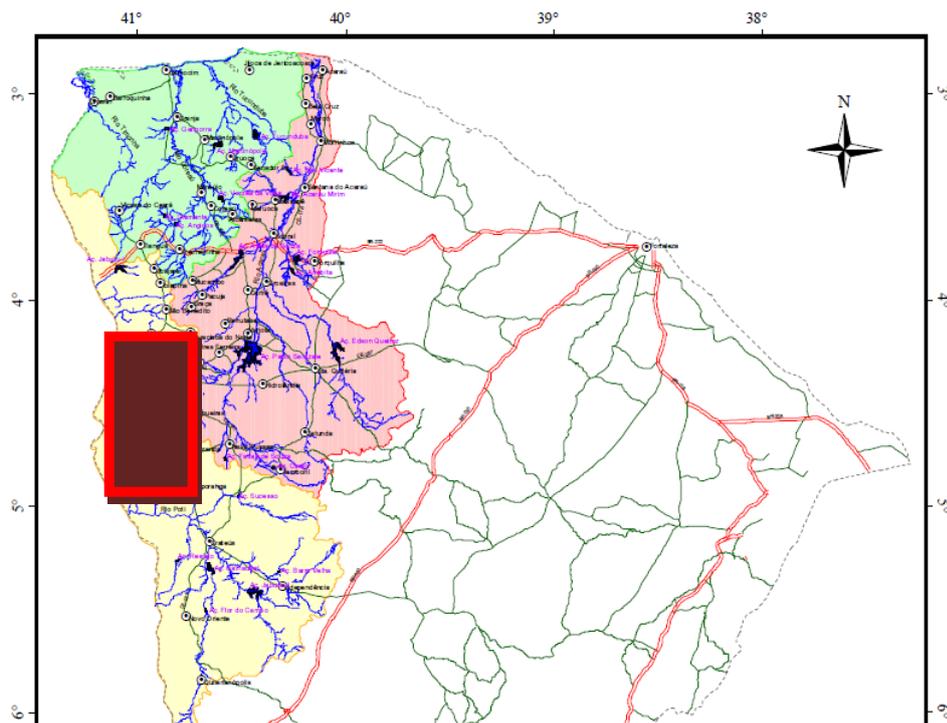


Figura 2.1: Localização da área em estudo em relação à bacia do Poti e às suas bacias vizinhas no estado do Ceará

A hidrografia da bacia dos açudes Inhuçu-Sotero e Lontras I (área livre) é apresentada na **Figura 2.2**.

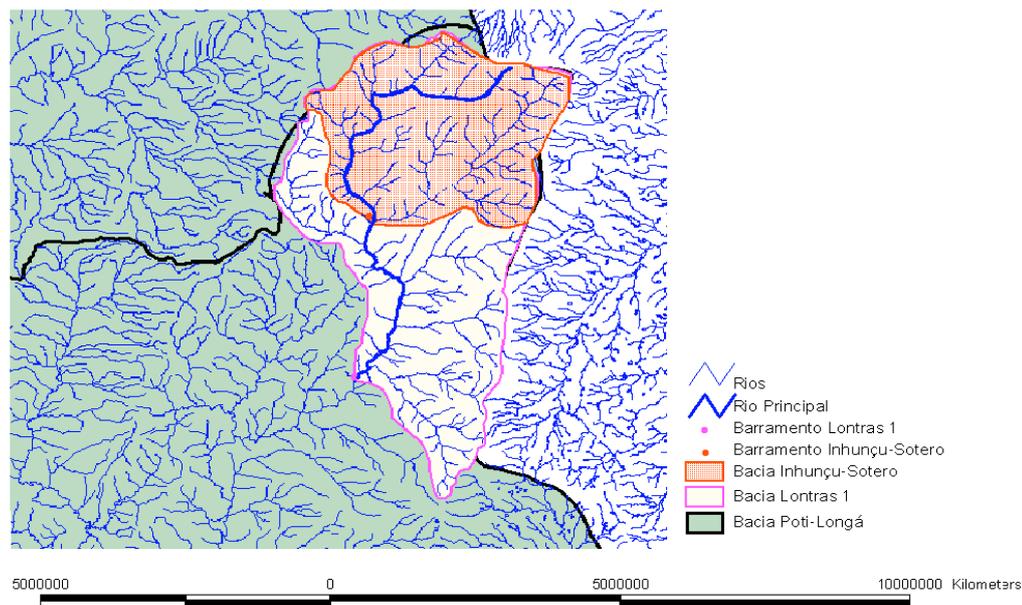


Figura 2.2: Hidrografia da bacia dos açudes Inhuçu e Lontras

2.2.2. 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 dos açudes 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**.

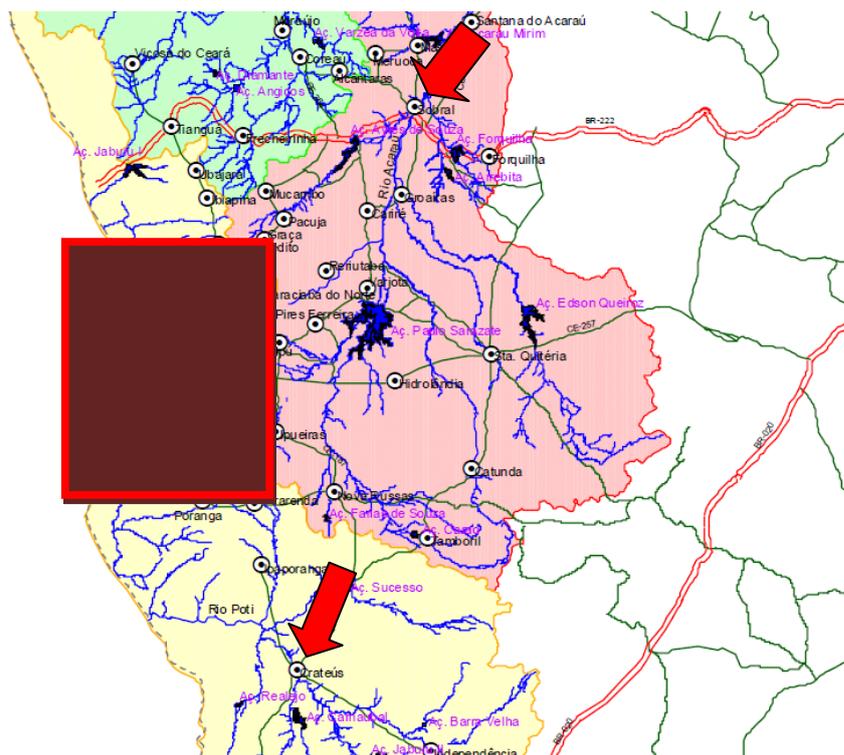


Figura 2.3: Localização das estações climatológicas de sobral e crateús em relação à bacia hidrográfica do rio Inhuçu/Lontras (retângulo em vermelho)

Quadro 2.2: Características das Estações Climatológicas Sobral e crateús

Município	Código	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Total Anos de
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.

2.2.2.1. Temperatura

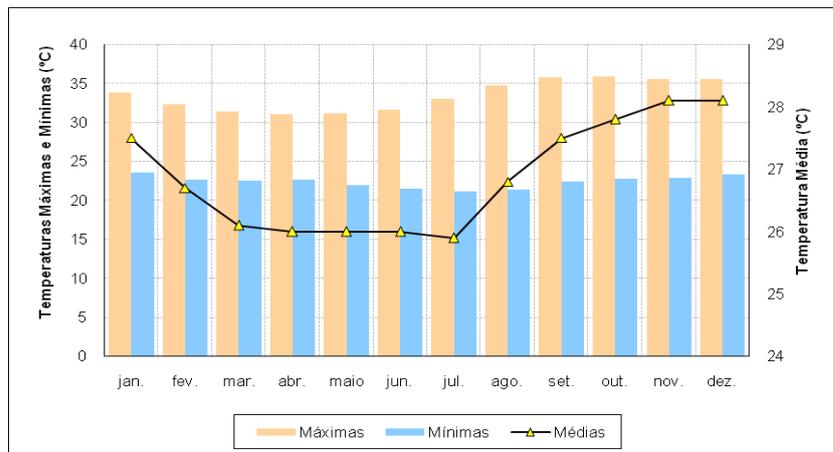
O regime térmico das bacias é caracterizado por temperaturas médias em torno de 27°C. Os valores máximos ocorrem nos meses de setembro a dezembro e os mínimos, nos meses de abril

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: Umidade Relativa na Área em Estudo (em %)

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)



Fonte: INMET (1990)

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

2.2.2.2. 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

Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	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)

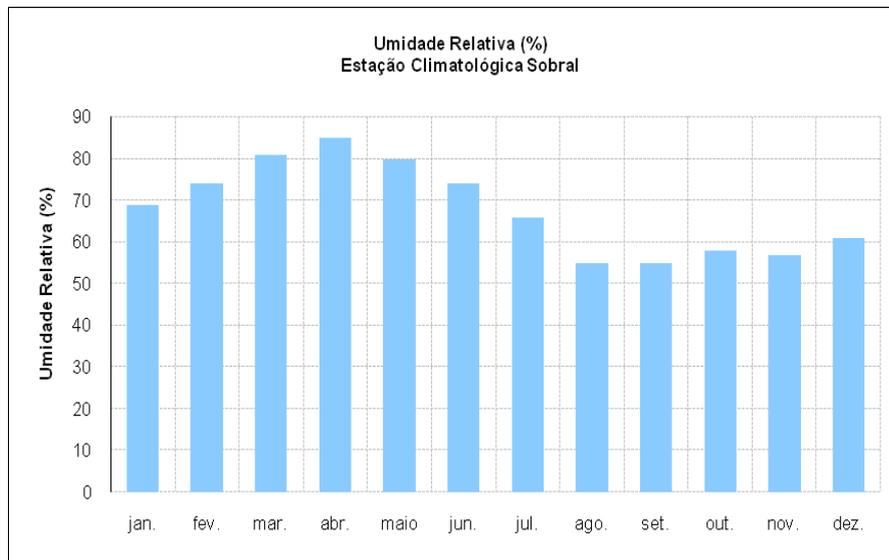


Figura 2.5: Umidade relativa (%) na Área em Estudo

2.2.2.3. 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**.

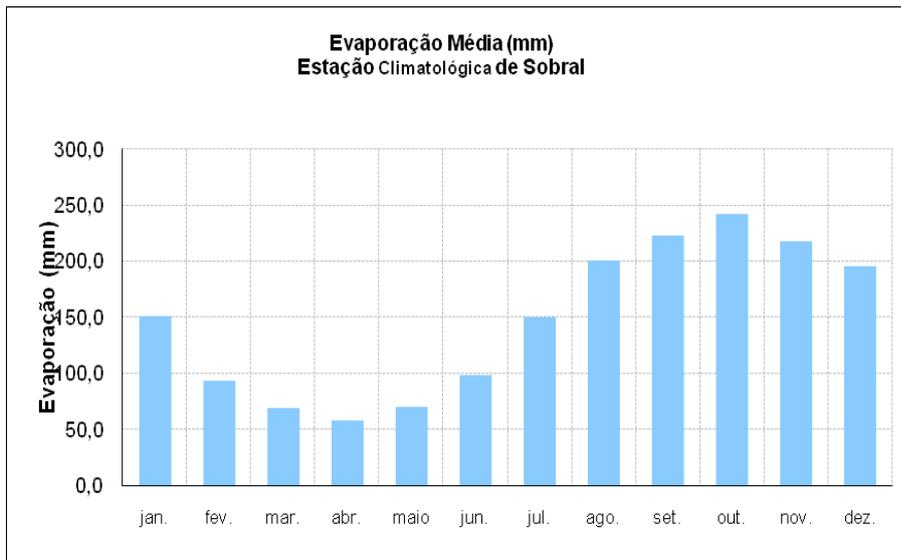
O **Quadro 2.5** apresenta ainda a evaporação nas 13 estações climatológicas do Estado. Observa-se que a estação Crateús (localizada na bacia do Poti) apresenta o maior valor para este parâmetro no Estado. Considerando-se que a região em estudo apresenta altitudes mais elevadas, acredita-se que a estação 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 da Tabela 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)



Fonte: Fonte: INMET (1990)

Figura 2.6 - Evaporação média mensal na Área em Estudo

2.2.2.4. 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 uma 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**.

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

Onde: ETpot - 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 resistance, r_a - resistência aerodinâmica, R_n - balanço de radiação, G - fluxo de calor através do solo e T_{ar} - a temperatura do ar (°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:

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

onde: F - Fator dependente da latitude (adimensional); T_{comp} - Temperatura média compensada em °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 2.6**.

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

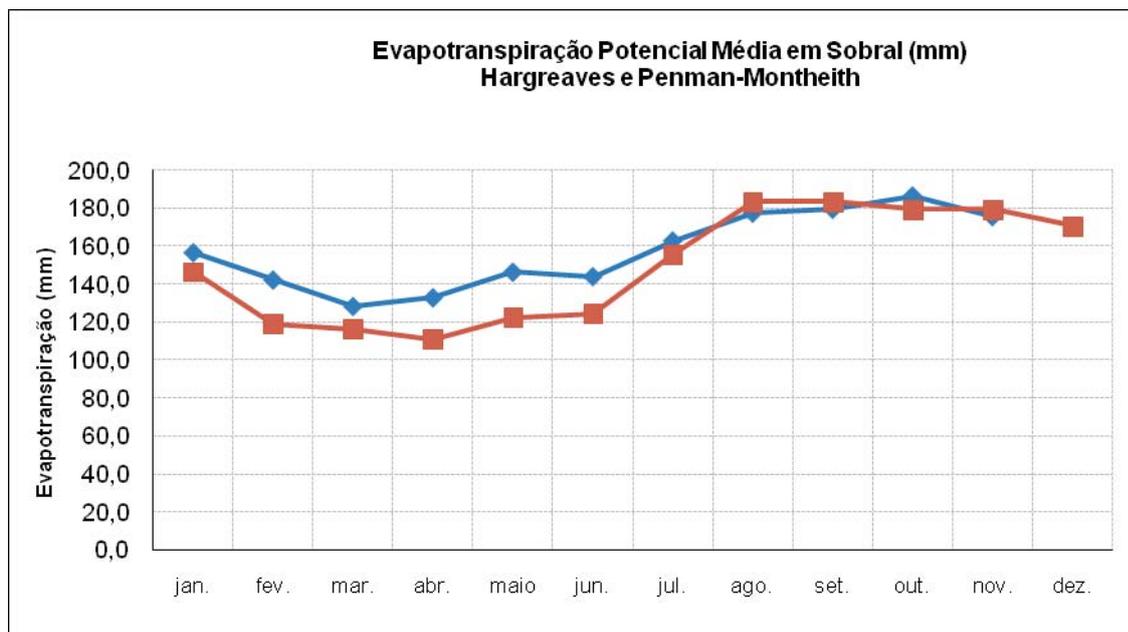


Figura 2.7: Evapotranspiração mensal média na Área em Estudo Estimada por Hargreaves e Penman-Montheith (mm)

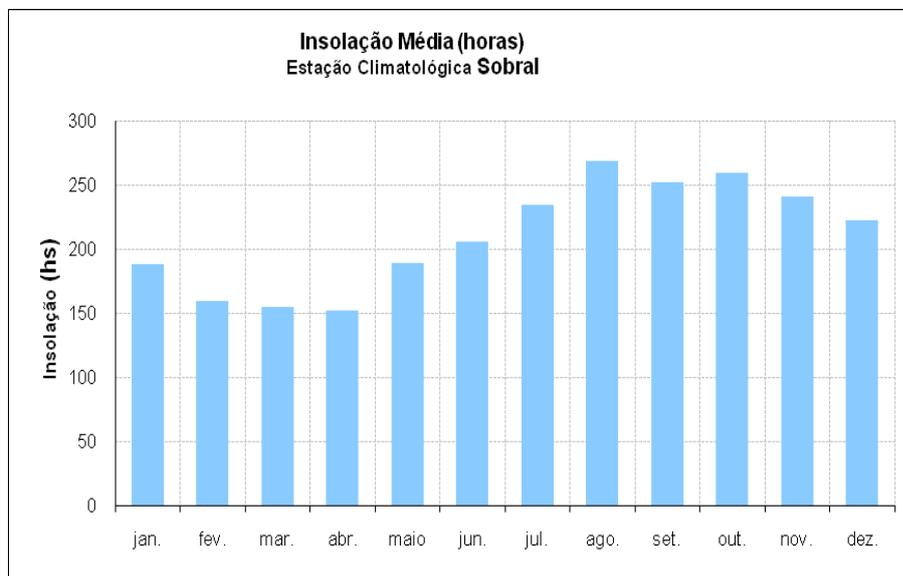
2.2.2.5. *Insolação*

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 àqueles 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)



Fonte: INMET (1990)

Figura 2.8: Insolação mensal média na Área em Estudo (hs)

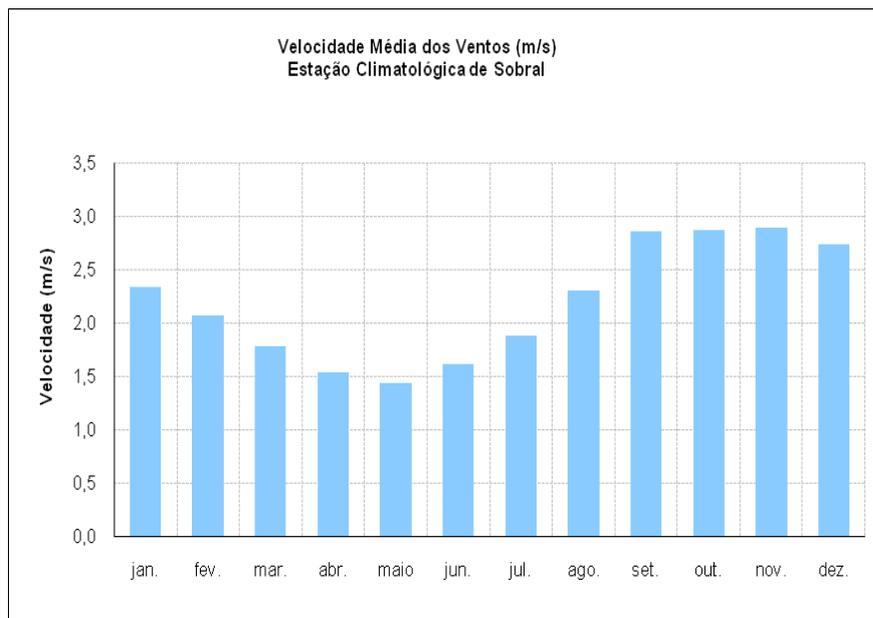
2.2.2.6. *Velocidade dos Ventos*

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)



Fonte: INMET (1990)

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

2.2.3. 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.

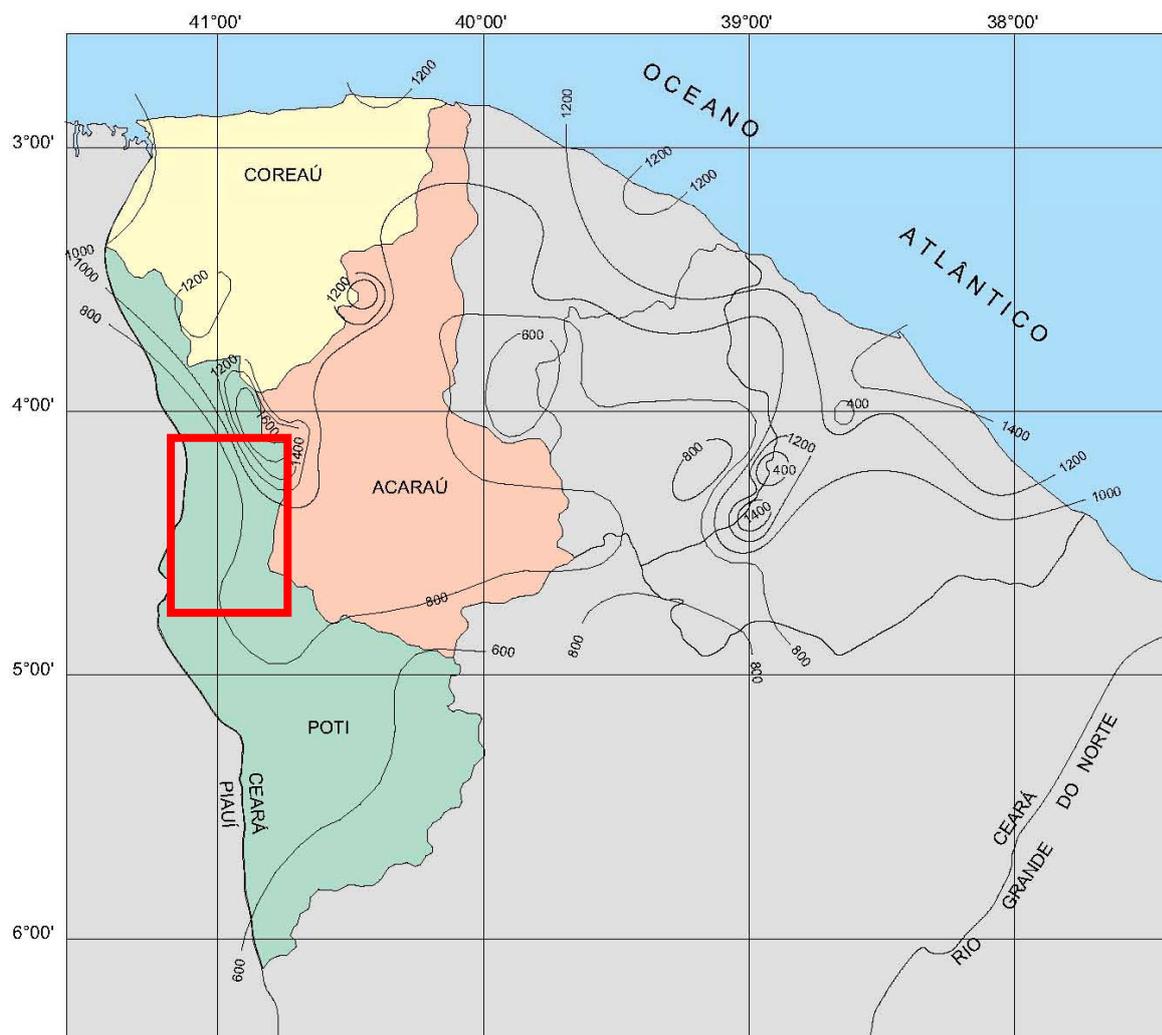


Figura 2.10: Isoietas das bacias do poti, acaraú e coreau (retângulo em vermelho marca a área em estudo)

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 Antonio 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 dos açudes 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		

Ano	P (mm)	Ano	P (mm)	Ano	P (mm)
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 **Figuras 2.12 a 2.14** 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.

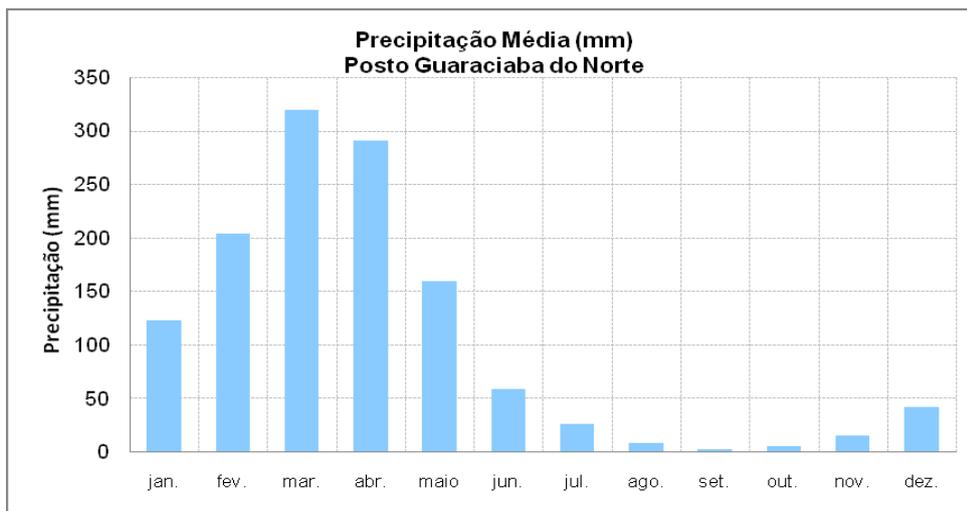


Figura 2.12: O regime de chuvas no posto Guaraciaba do norte

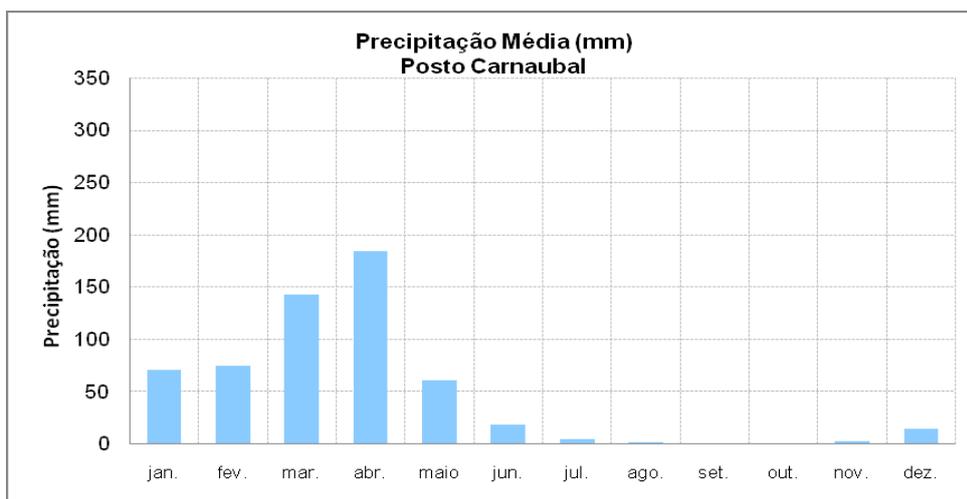


Figura 2.13: O regime de chuvas no posto carnaubal

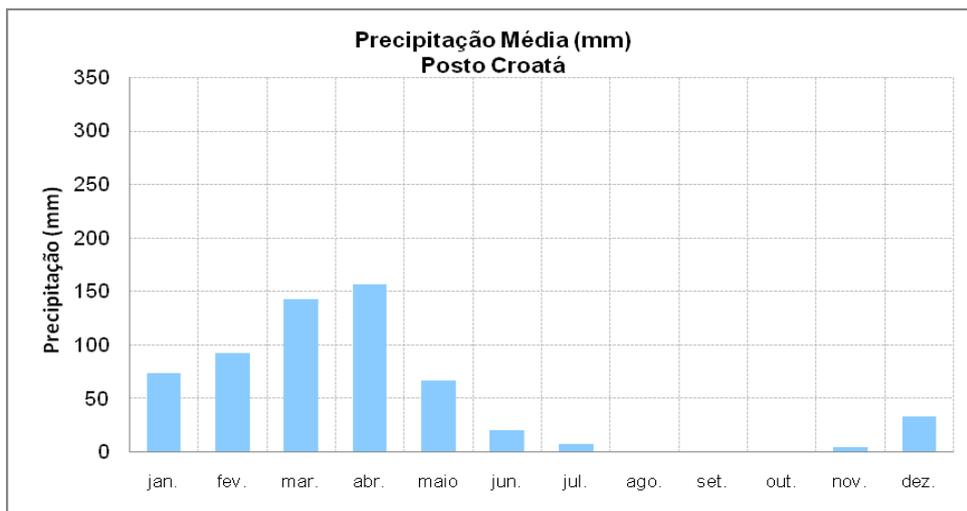


Figura 2.14: O regime de chuvas no Posto Croatá

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.

2.2.4. A Variabilidade Interanual das Chuvas na Bacia dos açudes 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 (**Figuras 2.12 a 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. Observa-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.

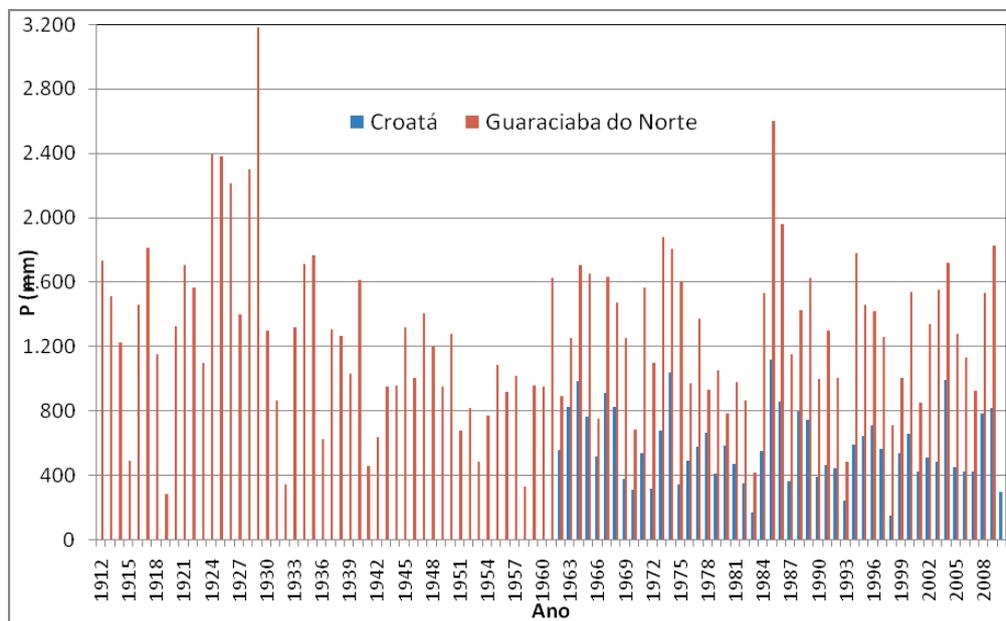


Figura 2.15: Precipitações anuais nos postos pluviométricos croatá e guaraciaba do norte

2.3. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DOS AÇUDES INHUÇU E LONTRAS

A curva cota x volume do Açude Inhuçu (Eixo Sotero) e do Açude Lontras (Eixo I) encontram-se nos **Quadros 2.13 e 3.14 e Figuras 2.16 e 2.17.**

Quadro 2.13: Curva Cota (m) x Volume (hm³) do Açude Lontras (Eixo I)

Cota (m)	Volume (hm ³)
465	0,00
470	0,39
475	2,73
480	9,52
485	22,59
490	43,92
495	80,34
500	126,95
505	180,35
510	248,88
515	335,67
520	442,86
525	575,61
530	750,08
535	970,90
540	1.235,48
545	1.550,26

Quadro 2.14: Curva Cota (m) x Volume (hm³) do Açude Inhuçu (Eixo sotero)

Cota (m)	Volume
540	0,00
545	0,02
550	0,32
555	1,26
560	3,18
565	6,46
570	11,51
575	18,77
580	29,00
585	42,93
590	60,94
595	84,44
600	115,71
605	156,84

(*) Cota do vertedouro

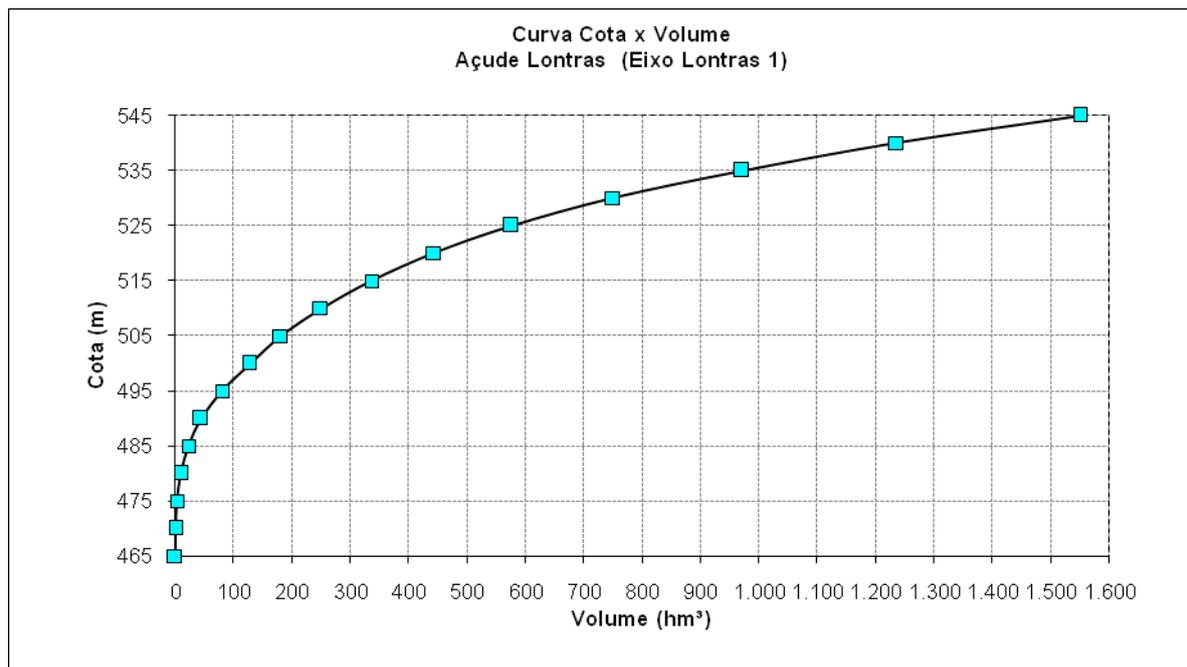


Figura 2.16: Curva Cota (m) x Volume (hm³) do Açude Lontras (Eixo I)

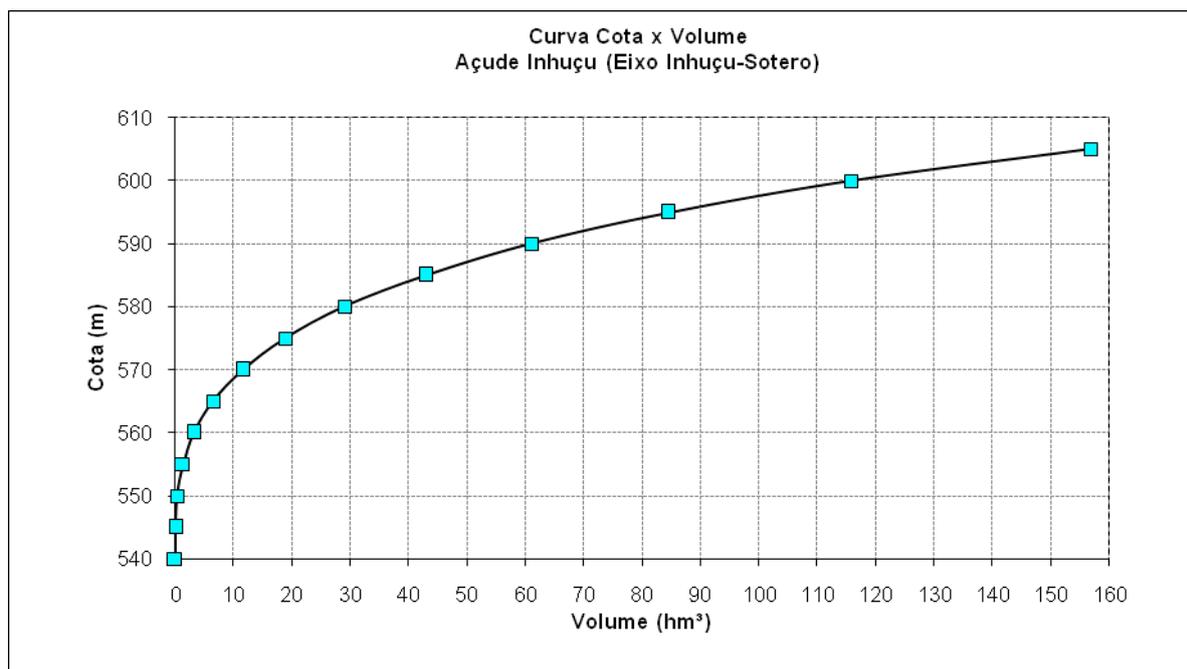


Figura 2.17: Curva Cota (m) x Volume (hm³) do Açude Inhuçu (Eixo sotero)

2.4. O REGIME DE CHUVAS INTENSAS NAS BACIAS DOS AÇUDES 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 dos Açudes Inhuçu (Eixo Sotero) e Lontras (Eixo I). 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 **Item 2.10** serão calculadas as cheias máximas afluentes aos barramentos em questão, em diferentes cenários: Cenário A (Inhuçu isolado), Cenário B (Lontras I sem Inhuçu a sua montante) e Cenário C (Lontras I 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 chuva 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.

2.5. 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 açudes Lontras (Eixo 1) e Inhuçu (Eixo Sotero), e seus respectivos tempos de concentração, se encontram no **Quadro 2.15**.

Quadro 2.15: Características das bacias hidrográficas dos açudes Lontras I e Inhuçu-sotero

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

2.6. 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 **Item 2.2**. Alguns postos estão desativados; os ativos, têm uma série histórica pequena ou com muitas falhas. Os de maiores extensão estão contidos no **Quadro 2.16**. Destes, três têm influência na bacia, conforme o polígono de Thiessen em capítulo anterior.

Quadro 2.16: 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

Selecionou-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).

2.7. 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 Torrico, 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 2.18**).

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 da tabela 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'

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

- 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;

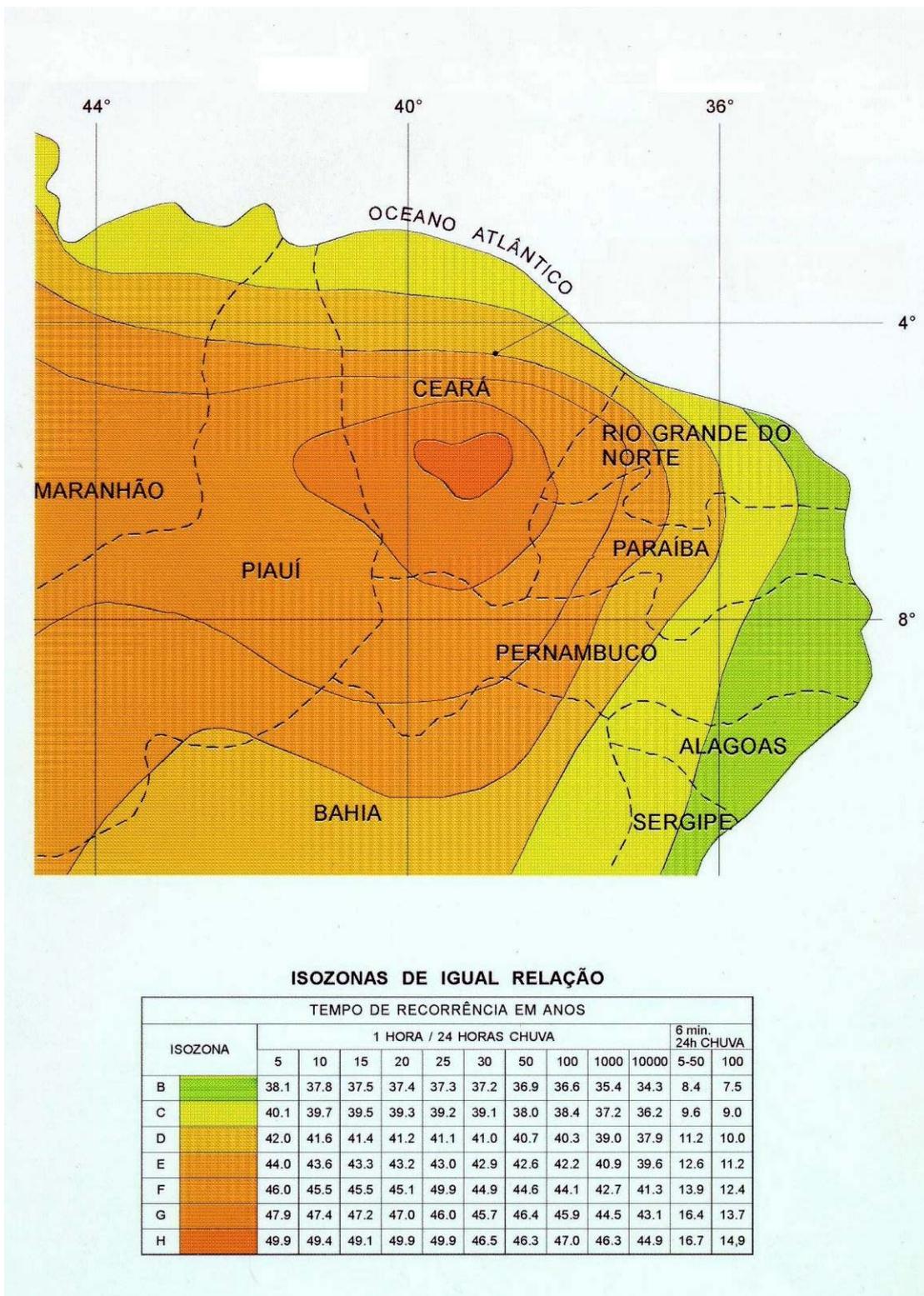
P_A = Precipitação sobre toda a área;

P_0 = Chuva pontual;

A = Área em estudo;

$A_0 = 25 \text{ km}^2$ (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.



Fonte: Torrico, 1975

Figura 2.18: Isozonas de igual relação

2.7.1. 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. Calculou-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 2.17**.

Quadro 2.17: 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.

2.7.2. Características das Séries de Chuvas Máximas com 1 dia de Duração

Foram estimadas as principais estatísticas que caracterizam o regime de chuvas (**Quadro 2.18**).

Quadro 2.18: Estatísticas básicas da série de precipitações máximas com duração de 1 dia para os postos pluviométricos Guaraciaba do Norte e Croatá

Características da Precipitação Máxima	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 2.18** 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.

2.7.3. Chuvas máximas com durações de 24 horas

As chuvas virtuais de 24 horas de duração, contidas no **Quadro 2.19**, foram obtidas multiplicando-se as precipitações contidas no **Quadro 2.17** (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 2.19: 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

2.7.4. 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 (Tabela 4.5) pelo fator R:

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

Os valores de R, para cada período de retorno, foram extraídos da tabela contida na **Figura 2.18** e os resultados encontram-se no **Quadro 2.20**. 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 2.20: 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

2.7.5. 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 2.2**, já apresentada anteriormente

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

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 2.20**.

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 **Quadros 2.21 a 2.23** 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 2.21: 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 Açude Inhuçu (posto guaraciaba do norte)

Tr	P _{o 24h}	P _{o 1h}	A	A/A ₀	w	r = 1 - w · 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 2.22: 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 Açude Lontras (sem Açude 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 2.23: 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 Açude Lontras (Com Açude 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 **Figuras 2.19 a 2.21**, respectivamente, para a bacia do Inhuçu, Lontras (sem Inhuçu a montante) e Lontras (área livre, com Inhuçu a sua montante).

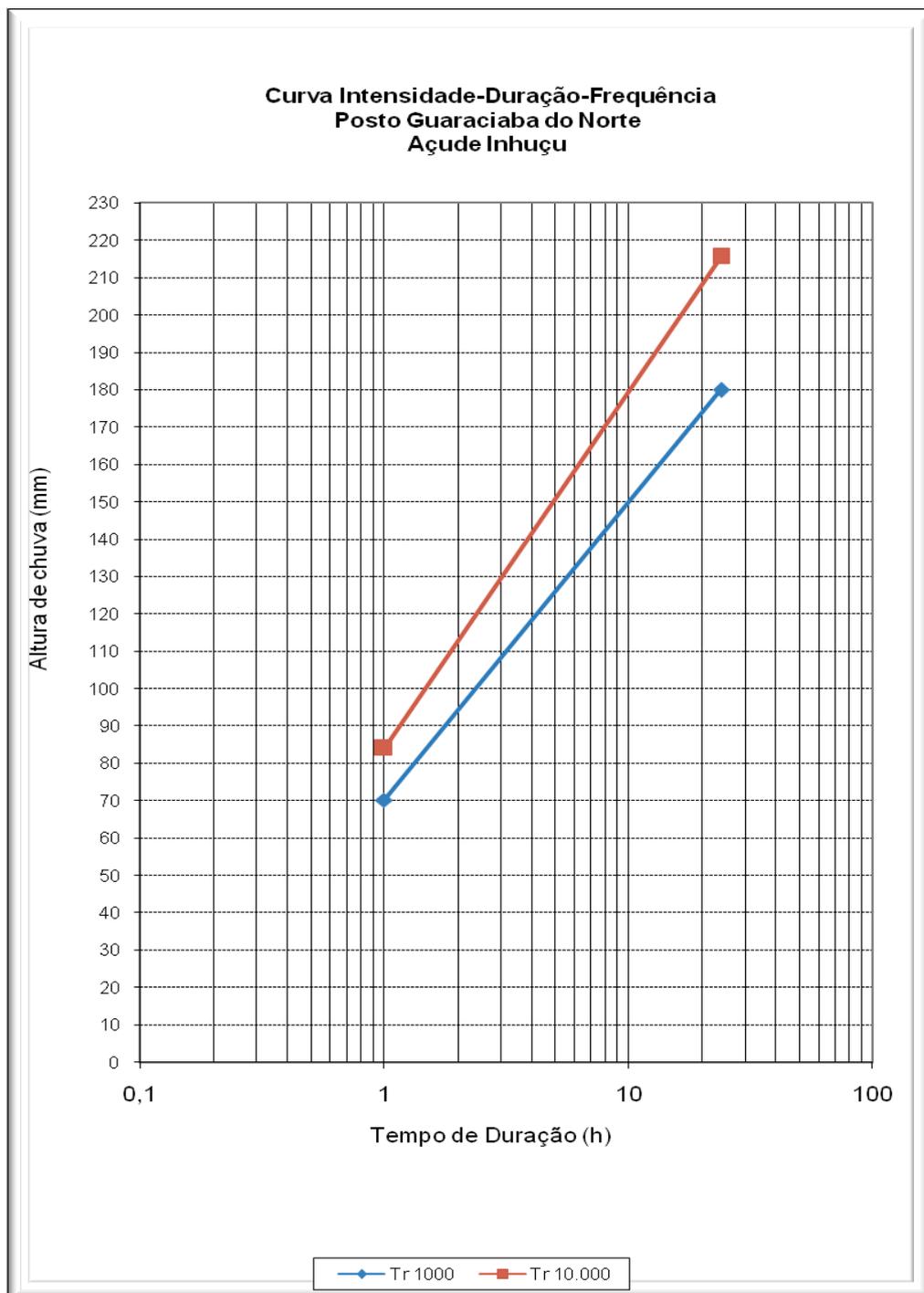


Figura 2.19: Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Açude Inhuçu com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Guaraciaba do norte.

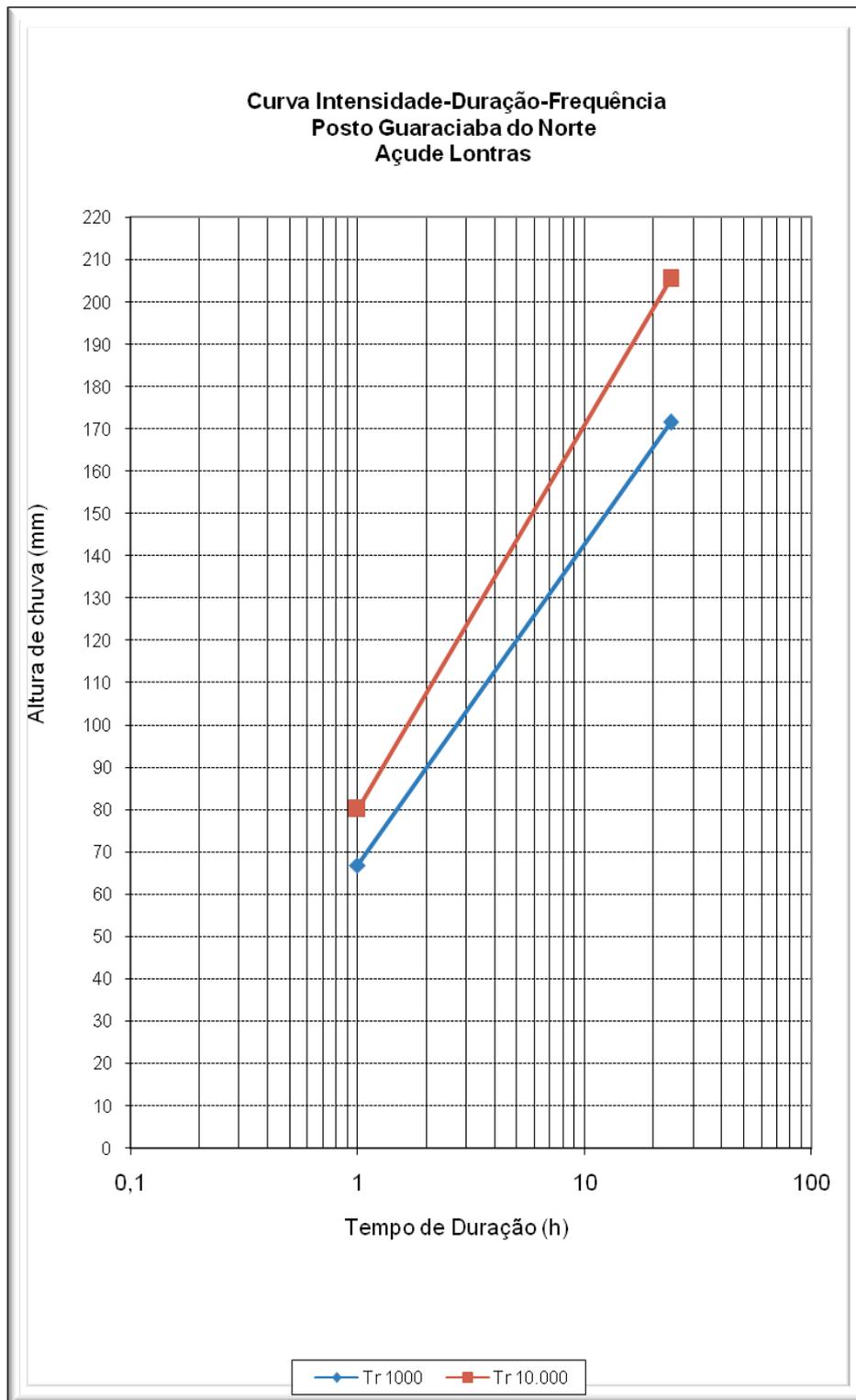


Figura 2.20: Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Açude Lontras com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto guaraciaba do norte.

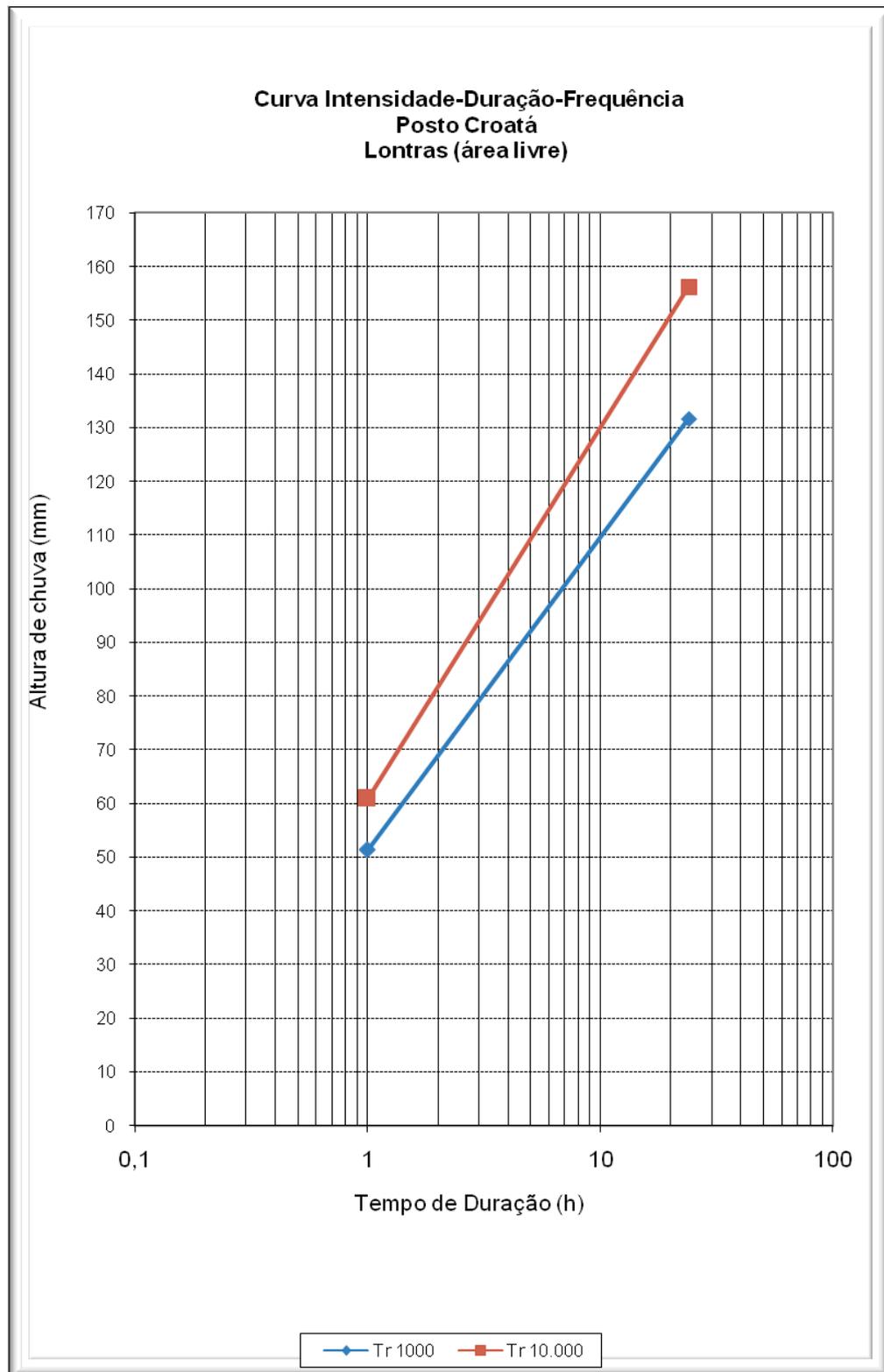


Figura 2.21: Curva Intensidade-Duração-Frequência para a bacia do Açude Lontras (Área Livre a jusante do Açude Inhuçu) com TR= 1.000 e 10.000 anos, utilizando o posto Croatá.

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 do Açude 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 $T_r = 1.000$ e 10.000 anos (**Quadro 2.24**).

Quadro 2.24: Distribuição acumulada da chuva sobre as bacias dos Açudes Lontras e Inhuçu, a cada intervalo de 1 hora

Duração da Chuva horas	Inhuçu-Sotero		Lontras I (sem barramento a montante)		Lontras I (área livre a jusante de Inhuçu)	
	$T_r = 1.000$	$T_r = 10.000$	$T_r = 1.000$	$T_r = 10.000$	$T_r = 1.000$	$T_r = 10.000$
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

Duração da Chuva horas	Inhuçu-Sotero		Lontras I (sem barramento a montante)		Lontras I (área livre a jusante de Inhuçu)	
	Tr = 1.000	Tr = 10.000	Tr = 1.000	Tr = 10.000	Tr = 1.000	Tr = 10.000
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 2.24**, observa-se que as chuvas críticas para a bacia do Açude Inhuçu-Sotero ($t_c = 9$ hs) para Tr de 1.000 e 10.000 anos são, respectivamente, 146 e 175 mm. Para a bacia do Açude Lontras I (sem barramentos a montante) ($t_c = 14$ hs), estes valores são 150,4 e 180,1mm. Já para a área livre do Açude Lontras I (retirando a área controlada pelo Açude Inhuçu-Sotero) ($t_c = 7$ hs), os valores encontrados são 100 e 120mm.

2.8. O REGIME FLUVIAL DO RIO INHUÇU (MACAMBIRA) 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 (Macambira) no sítio das barragens Inhuçu e Lontras.

2.8.1. 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 2.25**.

Quadro 2.25: 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-Sotero; a barragem Lontras (Eixo I) situa-se à jusante do posto, no mesmo rio. Sendo assim, as séries

históricas afluentes ao dois barramentos serão determinada utilizando-se os dados do Posto Fluviométrico Croatá, corrigidas pela relação entre as áreas (**Quadro 2.26**).

Quadro 2.26: Características das séries afluentes ao posto fluviométrico CROATA e aos Açudes Lontras (Eixo I) e Inhuçu (Eixo Sotero)

	Est. Fluviométrica Croatá	Açude Lontras I	Açude Inhuçu-Sotero
Área (km ²)	1.030 km ²	1.414 km ²	847 km ²
Vazão Média Afluente Anual (μ)	3,77 m ³ /s (116,8 hm ³ /ano)	5,26m ³ /s (163,1 hm ³ /ano)	3,14m ³ /s (97,4 hm ³ /ano)
CV	0,9	0,9	0,9
Extensão da Série	1963 – 2006 (27 anos sem falhas)	1963 – 2006 (27 anos sem falhas)	1963 – 2006 (27 anos sem falhas)

O **Quadro 2.27** apresenta a série histórica – efetivamente medida – no Posto Fluviométrico Croatá. Os **Quadros 2.27** e **2.28** apresentam as séries afluentes às barragens Lontras I e Inhuçu (Sotero), corrigidas pelas relações entre suas áreas de drenagem e a do posto Croatá.

Quadro 2.27: 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

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
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 2.28: Série de Vazões afluentes ao Açude Lontras (Eixo I) 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

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
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 2.29: Série de Vazões afluentes ao Açude Inhuçu (Eixo Sotero) 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 I e Inhuçu (Sotero) podem ser observado no **Quadro 2.30** e **Figuras 2.22** e **2.23**.

Quadro 2.30: 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

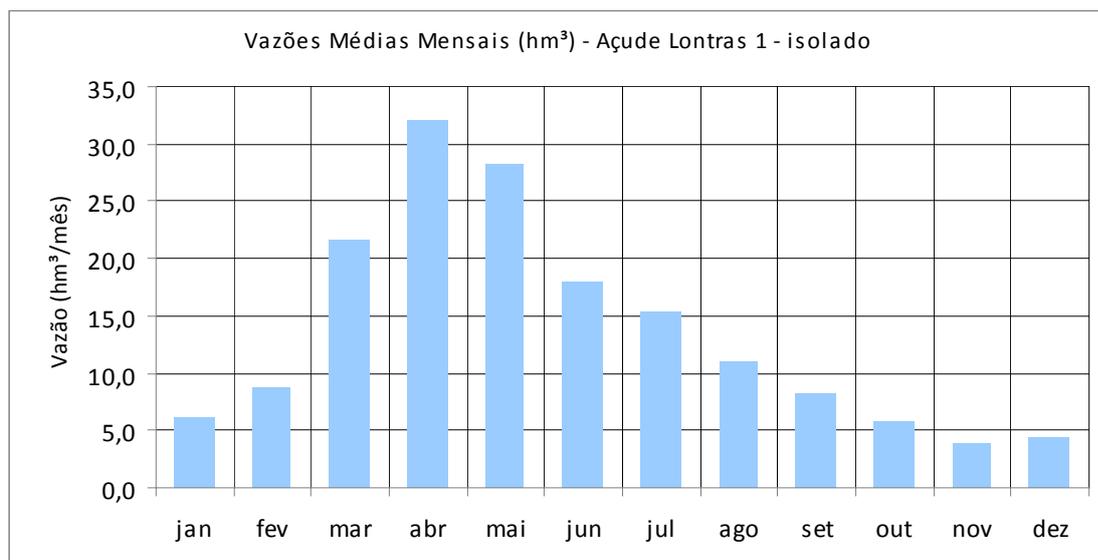


Figura 2.22: Vazões médias mensais Afluentes à barragem Lontras (eIXO i) (hm³)

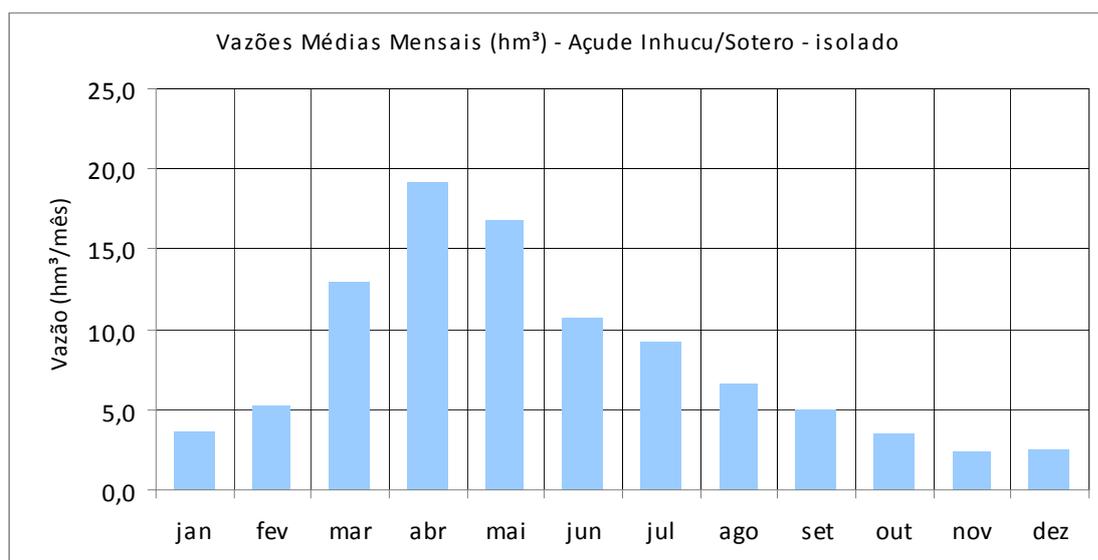


Figura 2.23: Vazões médias mensais Afluentes à barragem Inhuçu (eIXO Sotero) (hm³)

2.8.2. 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 2.31**, 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 2.31: Lamina (em mm) e coeficiente de escoamento (em mm) nos três estudos avaliados

Fonte	Vazão Média Afluente anual (hm ³)	Área de drenagem (km ²)	Lâmina (Km)	Lâmina (mm)	Precipitação Média (Thiessen) (mm)	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 Craotá (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 aos açudes Inhuçu (Eixo I) e Lontras (Eixo Sotero) tenham as mesmas características apontadas no PERH e Marco Regulatório. Sendo assim, o **Quadro 2.32** apresenta as vazões médias afluentes anuais aos dois açudes, tendo os três estudos como base.

Quadro 2.32: Vazões médias Afluentes Anuais às barragens Inhuçu-Sotero e Lontras I (hm³)

Fonte	Vazão Média Afluente anual (hm ³) Inhuçu-Sotero	Vazão Média Afluente anual (hm ³) Lontras I	Diferença em relação ao estudo atual
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%.

2.9. A CAPACIDADE DE REGULARIZAÇÃO DOS AÇUDES LONTRAS (EIXO I) E INHUÇU (EIXO SOTERO)

A capacidade de regularização dos Açudes Lontras I e Inhuçu-Sotero foi analisada a partir de suas operações simuladas. As séries históricas de vazões utilizadas em cada barramento é a contida no **Item 2.8 (Quadro 2.28 e 2.29)**. 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.

2.9.1. 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 açude 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.

2.9.2. A simulação dos reservatórios utilizando o programa simres

As simulações dos Açudes Lontras I e Inhuçu-Sotero 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 2.9.1**.

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.

2.9.3. Dados de entrada do simres para Açudes Lontras i e Inhuçu-Sotero

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

2.9.4. Dados do TAPE3.DAT

A simulação do Açude 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.

2.9.5. 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 **Item 2.3**.
- **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 **Quadros 2.5 e 2.11** e estão consolidadas no **Quadro 2.33**.

Quadro 2.33: Evaporação líquida do lago dos reservatórios Inhuçu-Sotero e Lontras I

	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	-	-	-	71,41	139,75	198,47	222,14	240,78	211,09	166,11	1045,78
ei=(Ei-Pi) /soma(Ei-Pi)	0,066	-0,016	-0,105	-0,127	-	0,068	0,134	0,190	0,212	0,230	0,202	0,159	1,00

2.9.5.1. Cenários Simulados

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

No Cenário A, adotou-se a capacidade do reservatório Lontras I igual a 350 hm³ (correspondente à cota que não alaga a sede municipal de Croatá). No Cenário B, adotou-se, para o reservatório Inhuçu, a capacidade de 100 hm³ (a capacidade máxima para este reservatório seria de 180hm³, correspondente à cota que inunda o distrito de Barra de Sotero). 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 2.34**).

Quadro 2.34: Capacidades adotadas nos cenários A, B e C (em hm³)

Cenário	Lontras I	Inhuçu-Sotero	Sistema (Somatório)	
A	350	-	350	
B	-	100	100	
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

2.9.6. 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 seqüências 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 (Stuart, 2000).

Assim, no presente estudo, as vazões regularizadas pelos açudes 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 2.35** apresenta os resultados das simulações ao adotar-se os Cenários A, B e C. Os cenários A e B consideram apenas um único reservatório – Lontras I e Inhuçu-Sotero, 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 do Açude Lontras.

Quadro 2.35: Vazões Regularizadas pelos Açudes Lontras I e Inhuçu-Sotero (E pelo Sistema) nos cenários A, B e C (em hm³)

Cenário		Lontras I	Inhuçu-Sotero	Vazão regularizada pelo sistema (hm ³ /ano)
A	Capacidade (hm ³)	350,0		106,3
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	163,1		
	Q90 (hm ³ /ano)	106,3		
	f _K	2,1		
	f _M	0,7		
B	Capacidade (hm ³)		100,0	50,6
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)		97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)		50,6	
	f _K		1,0	
	f _M		0,5	
C1	Capacidade (hm ³)	350	40,0	131,4
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	154,4	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	98,7	32,7	
	f _K	2,3	0,4	
	f _M	0,6	0,3	
C2	Capacidade (hm ³)	350	50	132,1
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	149,3	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	94,9	37,2	
	f _K	2,3	0,5	
	f _M	0,6	0,4	
C3	Capacidade (hm ³)	350	60	133,1
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	145,3	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	92,0	41,1	
	f _K	2,4	0,6	
	f _M	0,6	0,4	
C4	Capacidade (hm ³)	350	70	133,2
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	141,9	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	89,5	43,7	
	f _K	2,5	0,7	
	f _M	0,6	0,4	
C5	Capacidade (hm ³)	340	80	133,0
	Vazão Média Afluente (hm ³ /ano)	139,1	97,4	
	Q90 (hm ³ /ano)	86,6	46,4	
	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	

Cenário		Lontras I	Inhuçu-Sotero	Vazão regularizada pelo sistema (hm ³ /ano)
	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 2.24** apresenta os resultados das simulações ao adotar-se os Cenários A, B e C para o Açude Lontras I, Inhuçu/Sotero 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-Sotero que melhor atenda outros requisitos importantes, tais como manchas de solo.

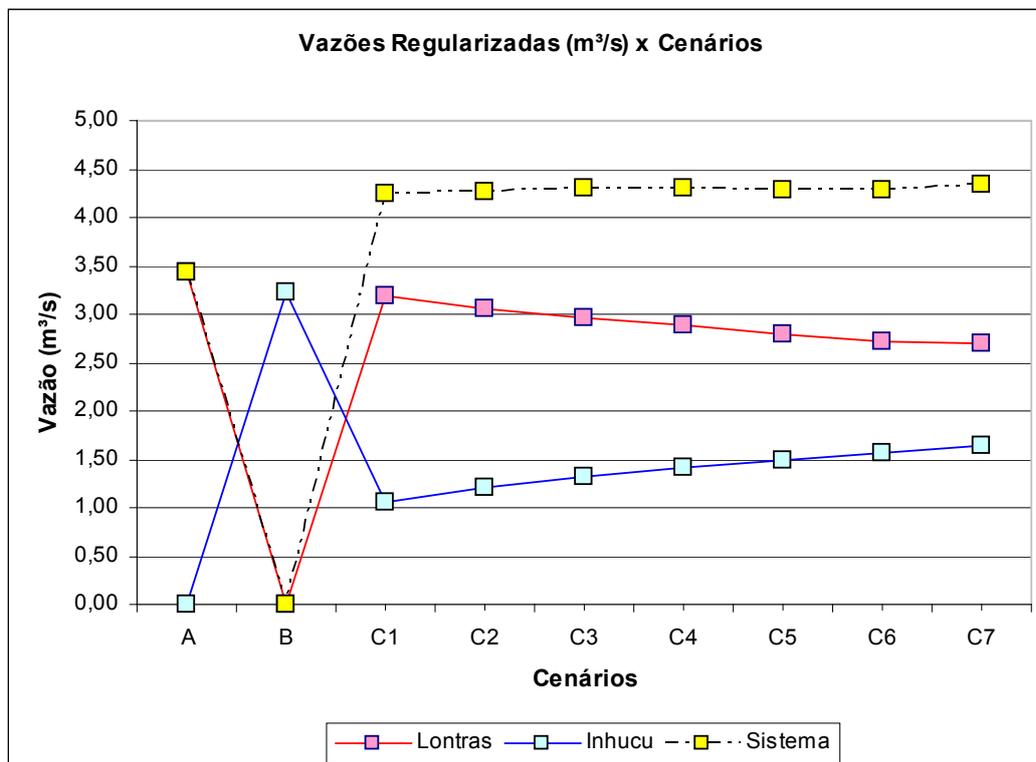


Figura 2.24: Vazões Regularizadas pelos Açudes Lontras I e Inhuçu-Sotero (E pelo Sistema) nos cenários A, B e C (em hm³)

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

Considerando o Cenário C1 como o definitivo, um análise adicional pode ainda ser feita. Considerando-se que se retirará 3m³/s do Açude Lontras I, 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 6.4 e Figura 6.2.

Quadro 2.36: 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

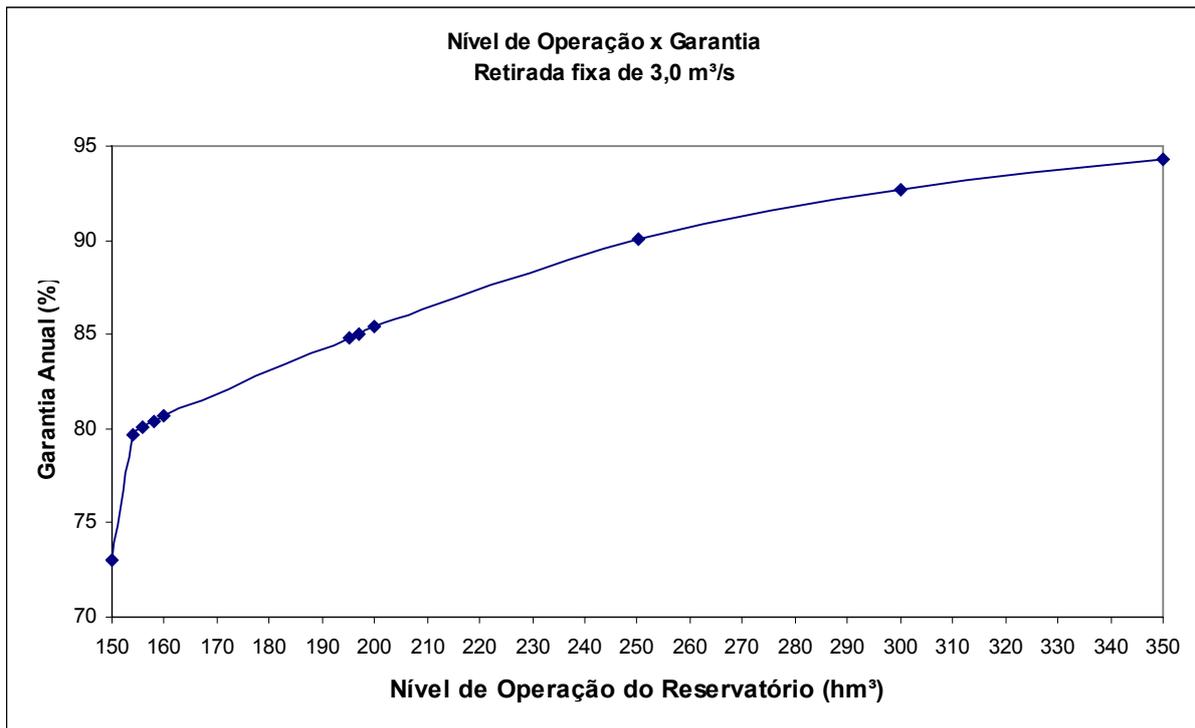


Figura 2.25: Nível de operação do reservatório (em hm³) e garantia associada a retirada de 3,0m³/s

2.10. O ESTUDO DE CHEIAS E DO VERTEDOURO

A cheia de projeto, muitas vezes denominada de *cheia sintética*, é freqüentemente 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 dos açudes Lontras I e Inhuçu-Sotero, no sentido de *verificação da segurança* das barragens supracitadas. O programa utilizado é o Flood Hydrograph Package (HEC-1), 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.

Neste Capítulo será considerado apenas o Cenário C1 (Inhuçu-Sotero e Lontras I em série). As capacidades escolhidas no **Item 2.9** foram, respectivamente, 40 hm³ e 350 hm³).

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

2.10.1. 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 Inhuçu-Sotero é de 18hs e, para Lontras I (área livre), é de 14hs. Observa-se no **Quadro 2.24**, do **Item 2.4**, que para Inhuçu-Sotero, a chuva milenar é de 167,14 e a decamilenar é de 200,36mm. Para Lontras I – área livre, estes valores são 116,20mm e 137,50mm, respectivamente. A distribuição do total precipitado ao longo destes períodos seguiu metodologia proposta pelo NWS e pode ser observada no **Quadro 2.37** e **2.38**. As **Figuras 2.26** e **2.27** mostram a chuva balanceada milenar e decamilenar ao longo de 2 t_c para Inhuçu-Sotero, As **Figuras 2.28** e **2.29**, para Lontras I (área Livre). O retângulo em azul mostra a chuva crítica ($t_c=9$ e 7hs) inserida na chuva de duração maior ($t_d=18$ e 14hs).

Quadro 2.37: Distribuição temporal das precipitações incrementais ao longo de 18 horas (em mm) considerando o intervalo de duração de 1 hora – Inhuçu-Sotero

	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	2,14	2,14	2,5	2,54
2	2,14	4,29	2,5	5,09
3	2,14	6,43	2,5	7,63
4	2,14	8,57	2,5	10,18
5	5,00	13,57	5,0	15,18
6	8,00	21,57	4,0	19,18
7	7,00	28,57	10,0	29,18
8	16,00	44,57	19,0	48,18
9	70,20	114,77	84,1	132,27
10	22,80	137,57	26,9	159,18
11	10,00	147,57	10,0	169,18
12	4,00	151,57	10,0	179,18
13	3,00	154,57	6,0	185,18
14	4,00	158,57	5,0	190,18
15	2,14	160,72	2,5	192,72
16	2,14	162,86	2,5	195,27
17	2,14	165,00	2,5	197,81
18	2,14	167,14	2,5	200,36

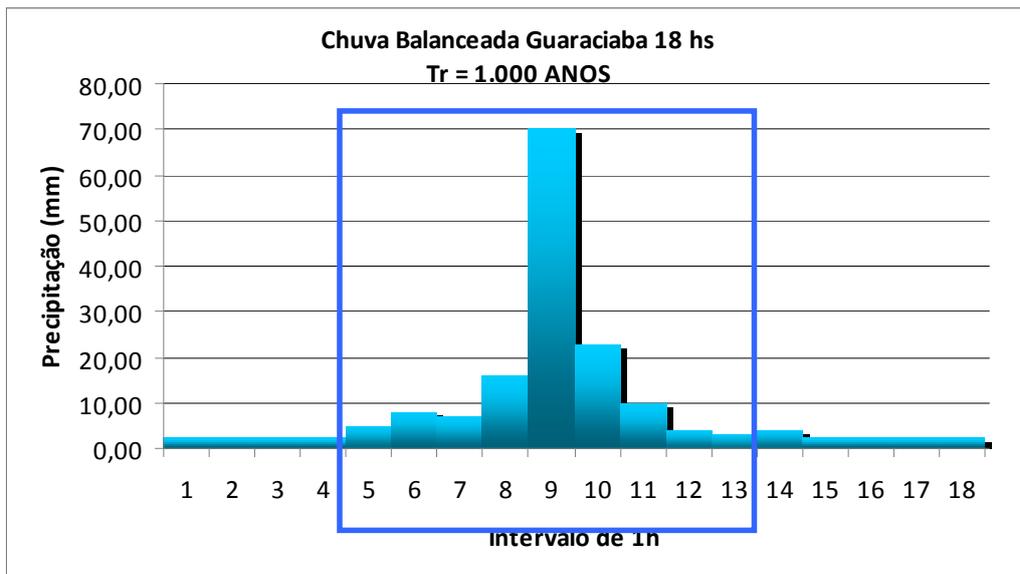


Figura 2.26: Chuva balanceada de 18 horas para Tr=1.000 anos para Inhuçu-Sotero

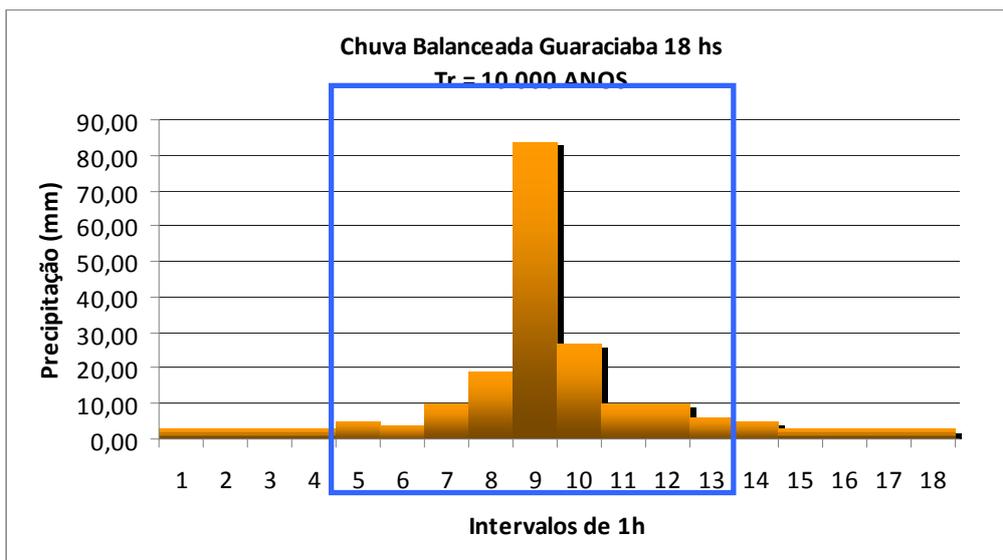


Figura 2.27: Chuva balanceada de 18 horas para Tr=10.000 anos para Inhuçu-Sotero

Quadro 2.38: Distribuição temporal das precipitações incrementais ao longo de 14 horas (em mm) considerando o intervalo de duração de 1 hora – Lontras I – área livre

	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

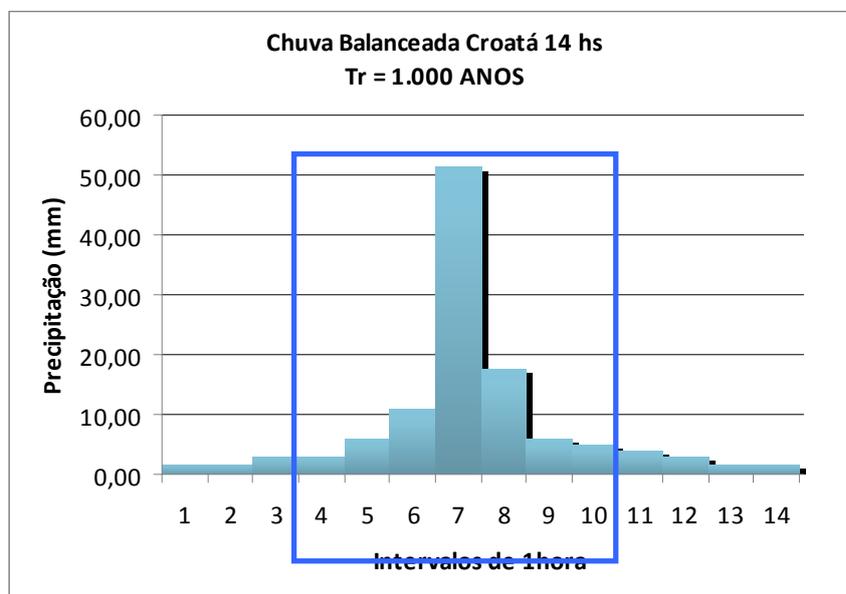


Figura 2.28: Chuva balanceada de 14 horas para Tr=1.000 anos para Lontras I- área livre

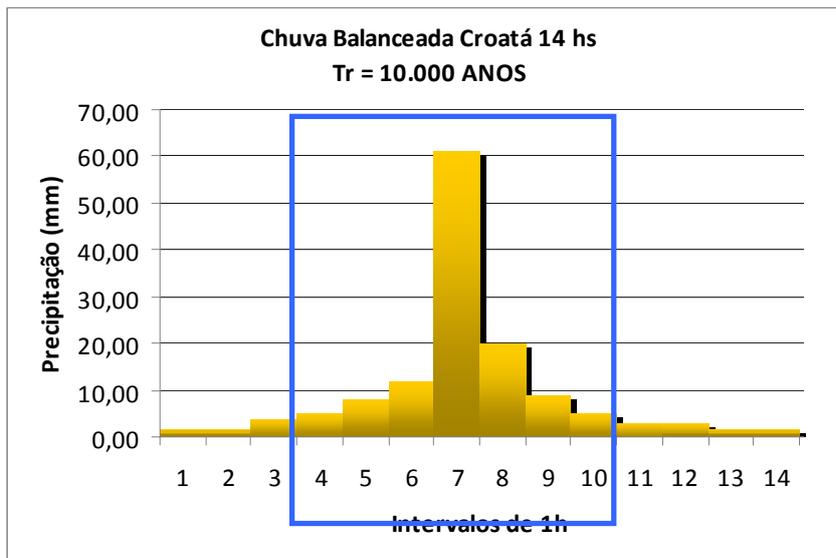


Figura 2.29: Chuva balanceada de 14 horas para $Tr=10.000$ anos para Lontras I- área livre

2.10.2. O método chuva-deflúvio adotado

O programa HEC-1 dispõe de várias metodologias para a transformação de precipitação em escoamento superficial. A metodologia adotada neste estudo, pelos consultores, 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 2.30**.

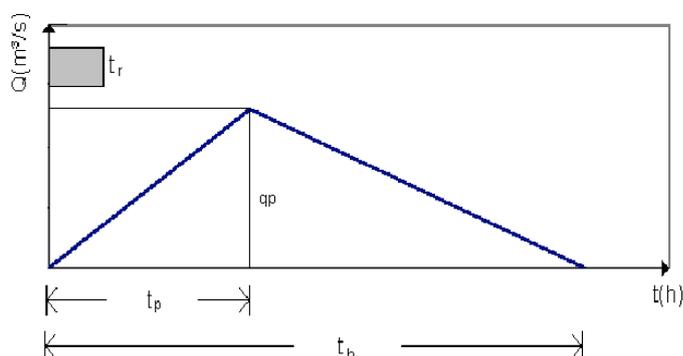


Figura 2.30: Hidrograma Unitário Sintético do Soil Conservation Service

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 1mm.

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

onde P é igual a 1mm, 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 dos Açudes Inhuçu (Eixo Sotero) e Lontras (Eixo I) estão dentro deste limite.

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

Utilizando-se as **equações 2.3 a 2.4** e sabendo-se o tempo de concentração, têm-se que o hidrogramas unitários das mesmas, para uma chuva de 1mm e de duração 1/5 do tempo de concentração.

2.10.2.2. *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 dos Açudes Lontras e Inhuçu adotou-se CN = 65.

2.10.3. As cheias máximas com $tr = 1.000$ e 10.000 anos afluentes e efluentes aos reservatórios inhuçu (eixo sotero) e lontras (Eixo I)

O Cenário I simulado tem topologia cujas principais características são novamente apresentadas no **Quadro 2.39**.

Quadro 2.39: Principais Características dos reservatórios Lontras e Inhuçu

Açude	Capacidade (hm ³)	Bacia Hidrográfica (km ²)	Cota da Soleira do Vertedouro (m)
Inhuçu-Sotero	40	847	583,9
Lontras I (área livre)	350	567	516,2

Parte das cheias afluentes ao Açude Lontras (Eixo I) é amortecida pelo Açude Inhuçu (Eixo Sotero). No que se refere ao vertedouro, considerou-se Perfil Creager, conforme **Equação 2.5**.

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

O **Quadro 2.40** apresenta as vazões afluentes e efluentes ao Açude Inhuçu (Eixo Sotero) considerando três opções para a largura do vertedouro – 150, 170 e 200m. Observa-se que a cheia milenar atinge valores de 1.111,5 m³/s e que, ao adotar-se qualquer uma das larguras especificadas, o amortecimento desta cheia é muito pequeno, entre 2,8 a 4,7% resultando em vazões efluentes muito próximas entre si (1.059,4 a 1.079,9 m³/s. A lâmina sobre o vertedouro fica em torno de 2 metros.

No caso da cheia afluyente decamilenar, esta atinge o valor de 2.330,8 m³/s, tendo um amortecimento um pouco maior, mas ainda pequeno – entre 4,1 a 6,2%. Isto já era evidenciado pela morfometria do lago, o qual apresenta um fator de forma (alfa) bem pequeno com aqueles normalmente encontrados nos reservatórios do Ceará.

O retardo do tempo de pico também é pequeno - em torno de apenas 1 ou 2 horas (11 horas para 13 horas – milenar e de 14 horas para 15 horas – decamilenar).

No que se refere à lâmina sobre o vertedouro, esta atinge valores entre 3,1 e 3,7 metros.

Quadro 2.40: 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 do Açude Inhuçu (Eixo Sotero), considerando a largura do vertedouro 150, 170 e 200m.

	Milenar			Decamilenar		
	L=150m	L=170m	L=200m	L=150m	L=170m	L=200m
Cheia Afluente	1111,5 m ³ /s			2.330,8 m ³ /s		
Tp	11 hs			14 hs		
Cheia Efluente	1.059,4 m ³ /s	1.067,0 m ³ /s	1.079,9 m ³ /s	2.186,8 m ³ /s	2.216,2 m ³ /s	2.235,9 m ³ /s
Tp	13 hs	13 hs	12 hs	15 hs	15 hs	15 hs
lâmina (m)	2,27 m	2,08 m	1,87m	3,69 m	3,43 m	3,1 m
Amortecimento	4, 7%	4,0 %	2,8	6,2	4,9	4,1

A definição final da largura do vertedouro (150, 170 ou 200m) do Açude Inhuçu (Eixo Sotero) ficará vinculada a considerações construtivas. Mas observa-se que os valores de lâmina encontradas para as cheias decamilenares estão dentro de uma faixa valores considerados seguros.

Os **Quadros 2.41 e 2.42** apresentam as vazões afluentes e efluentes ao Açude Lontras (Eixo I), tendo o Açude Inhuçu a sua montante. Uma vez que as vazões efluentes do Açude Inhuçu, independentemente da largura de vertedouro adotada (150, 170 ou 200m) são muito próximas entre si – a máxima diferença é em torno de 2% (milenar - de 1.059 a 1.079m³/s e decamilenar - de 2.186,8 a 2.235,9m³/s) escolher-se-á a largura de 150m apenas para que se possa simular o Açude Lontras (Eixo I), a sua jusante. O impacto de se utilizar outra largura nesta faixa de valores é muito pequeno sobre os resultados do Lontras I.

Também variou-se a largura do vertedouro do Açude Lontras I, neste caso entre 80 metros e 200 metros. Os resultados, para as cheias milenares, estão expostos no **Quadro 2.41**. Para as cheias decamilenares, os resultados se encontram no **Quadro 2.42**.

Quadro 2.41: Vazões de pico dos hidrogramas afluentes e efluentes para $T_r = 1.000$ anos, Lâmina sobre a soleira do vertedouro e nível de amortecimento do Açude Lontras (Eixo I), considerando a largura do vertedouro entre 80 e 200m (Açude Inhuçu com $L=150m$).

	Milenar					
	L=80m	L=100m	L=120m	L=150m	L=170m	L=200m
Cheia Afluente	1.969,9 m ³ /s					
Tp	15 hs					
Cheia Efluente	622,9 m ³ /s	710,8 m ³ /s	784,5 m ³ /s	890,8 m ³ /s	949,9 m ³ /s	1.031,6 m ³ /s
Tp	23 hs	22 hs	22 hs	21 hs	21 hs	20 hs
lâmina (m)	2,5 m	2,3 m	2,2m	2,0 m	1,9 m	1,8 m
Amortecimento	68,4%	63,9%	60,2%	54,8%	51,8%	47,6%

Quadro 2.42: Vazões de pico dos hidrogramas afluentes e efluentes para $T_r = 10.000$ anos, Lâmina sobre a soleira do vertedouro e nível de amortecimento do Açude Lontras (Eixo I), considerando a largura do vertedouro entre 80 e 200m (Açude Inhuçu com $L=150m$).

	Milenar					
	L=80m	L=100m	L=120m	L=150m	L=170m	L=200m
Cheia Afluente	2.684,9 m ³ /s					
Tp	15 hs					
Cheia Efluente	942,3 m ³ /s	1.074,6 m ³ /s	1.193,2 m ³ /s	1.337,9 m ³ /s	1.422,5 m ³ /s	1.525,1 m ³ /s
Tp	22 hs	22 hs	21 hs	20 hs	20 hs	20 hs
lâmina (m)	3,3 m	3,0 m	2,9m	2,7 m	2,6 m	2,4 m
Amortecimento	64,9%	60,0%	55,6%	50,2%	47,0%	43,2%

Observa-se que a capacidade de amortecimento do Açude Lontras I é grande. Dependendo da largura do vertedouro adotada, esta varia de 43 a 68%, 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 I, no que se refere à cheia milenar, a lâmina sobre o vertedouro fica em torno de 2 metros. No caso da decamilenar, esta varia de 2,4 m ($L=200m$) a 3,3 m ($L=80m$). A definição da largura do vertedouro do Açude Lontras (Eixo I) também ficará vinculada a considerações construtivas. Mas observa-se que os valores de lâmina encontradas para as cheias decamilenares estão dentro de uma faixa valores considerados seguros.

2.11. CONCLUSÕES

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

Foram simulados três cenários de topologias – Lontras I isolado (Cenário A), Inhuçu-Sotero isolado (Cenário B) e os dois reservatórios em série (Cenário C). No Cenário A, adotou-se a capacidade do reservatório Lontras I igual a 350 hm³ (correspondente à cota que não alaga a sede municipal de Croatá). No Cenário B, adotou-se, para o reservatório Inhuçu, a capacidade de 100 hm³ (a capacidade máxima para este reservatório seria de 180hm³, correspondente à cota que inunda o distrito de Barra de Sotero). O Cenário C foi dividido em sete sub-cenários – C1 a C7 - variando-se a capacidade do Açude Lontras entre 350 e 320 hm³ e do Açude 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 o Açude Lontras I, Inhuçu/Sotero 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 à uma compensação entre os dois reservatórios, o que tornou possível a escolha da capacidade do Inhuçu-Sotero que melhor atendesse outros requisitos importantes, tais como manchas de solo. Sendo assim, o Cenário escolhido foi o C1, ou seja, aquele que considera o Açude Inhuçu com 40 hm³ a montante do Açude Lontras, com 350 hm³ de capacidade, regularizando 1,05 m³/s (Inhuçu-Sotero) e 3,2 m³/s (Lontras I).

Para dimensionamento dos vertedouros das duas barragens, utilizou-se o software HEC-HMS e considerou-se os dois reservatórios em série. Simulou-se o Açude Inhuçu com três larguras de vertedouro – 150, 170 e 200m. Observou-se que independentemente da largura escolhida, o amortecimento das cheias milenar e decamilenar é muito pequeno – abaixo de 6,2%, resultando em vazões efluentes muito próximas entre si. Isto já era evidenciado pela morfometria do lago, o qual apresenta um fator de forma (alfa) bem pequeno com aqueles normalmente encontrados nos reservatórios do Ceará. As lâminas da cheia milenar ficam em torno de 2m e as da decamilenar entre 3,1 e 3,7 metros.

Variou-se também a largura do vertedouro do Açude Lontras I, neste caso entre 80 metros e 200 metros. A capacidade de amortecimento do Açude Lontras I se mostrou bem significativa, oscilando entre 43 a 68%. As lâminas observadas foram - 2 metros (cheia milenar) e 2,4 m (L=200m) a 3,3 m (L=80m), para a cheia decamilenar.

A definição final da largura dos dois vertedouros ficará vinculada a considerações construtivas, mas observa-se que os valores de lâminas encontradas para as cheias decamilenares, em ambas as barragens, estão dentro de uma faixa valores considerados seguros.

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ALTERNATIVAS A SEREM ANALISADAS

3. CONSIDERAÇÕES SOBRE AS ALTERNATIVAS A SEREM ANALISADAS

3.1. ALTERNATIVAS PARA A BARRAGEM INHUÇU

3.1.1. Eixo Da Barragem

Todos os eixos alternativos, com exceção do Inhuçú/Soteros, transcorrem por vales do tipo U alongado, ou seja, uma extensa planície aluvional ladeada de elevações montanhosas escarpadas. Esta configuração impossibilita a concepção de estruturas de sangria através de escavações nas ombreiras, principalmente pelas dimensões necessárias para escoar as vazões projetadas. No entanto, para as alternativas Inhuçú 3, 2 e 1 é possível localizar a estrutura de vertimento em uma depressão situada no divisor de águas da bacia, aproximadamente nas coordenadas E 280.584 e N 9.514.430. O caudal vertido nesse local cairá no riacho Saco dos Bois, que segue na direção Sudoeste até desembocar no rio Poti, já em terras do estado do Piauí.

O eixo Inhuçú, original do Estudo de Viabilidade elaborado pela Montgomery Watson/Engesoft, apresenta na ombreira direita uma sela topográfica com possibilidades de receber uma estrutura de sangria. As vazões descarregadas nesse ponto voltariam ao rio Inhuçú, por meio de um riacho afluente, no local denominado Volta do Rio, situado a cerca de 2 km a jusante do eixo.

No entanto, todas estas quatro alternativas aventadas acarretam na submersão da sede do distrito de Barra do Sotero (com 542 habitantes- censo 2010) e numa extensa faixa aluvional usada atualmente para agricultura de subsistência e com potencial para uma agricultura irrigada.

Considerando que as condições geológicas na região são relativamente homogêneas e visando contornar este dois impactos, estudou-se um outro eixo, dito Inhuçú/Sotero, situado imediatamente a montante da zona urbana de Barra do Sotero e barrando, também, o riacho Piau, importante tributário pela margem esquerda do rio Inhuçú.

A alternativa Inhuçú/Sotero apresenta, na ombreira direita, um contraforte com uma região mais suave que pode comportar uma estrutura de sangria. O caudal vertido nesse local retorna ao rio Inhuçú, por meio de um talvegue.

O eixo original implantado topograficamente apresenta uma deflexão voltada para montante, para evitar que o caudal de sangria atinja o maciço da barragem.

No entanto a equipe do Consórcio projetista implantou, no mesmo local, um eixo retilíneo, conservando o trecho do eixo Inhuçu/Sotero entre as estacas 49+19,55 até o final e alterando o trecho entre estacas zero e 49+19,55, numerando-o como Eixo A . Tal procedimento teve como finalidade estudar a viabilidade desta adequação em face a visível redução da extensão do eixo.

Com base nos levantamentos topográficos do eixo original e do Eixo A realizou-se uma confrontação técnica entre ambos, concluindo-se que:

- A ombreira direita do Eixo A, local escolhido para implantação do sistema de sangria, apresenta-se muito mais escarpada que a do eixo original. Isto representa, para a mesma largura de sangradouro, volumes de escavação de rocha significativamente superiores a do local do eixo original (2,2 milhões contra 1,2 milhões de m³), inclusive muito maiores que o necessário para uma barragem de enrocamento com núcleo argiloso (885.000 m³);
- A restituição do caudal de sangria do Eixo A tem tendência natural a se direcionar para o pé de jusante do maciço, necessitando obras de proteção ou reposicionamento com alongamento do canal de jusante;
- Embora o eixo A, para a mesma cota de coroamento, fique mais curto que o eixo original em 202 metros, o volume do aterro apresenta uma redução de apenas 2,8%, para uma mesma seção tipo de maciço.

Tendo em vista o pequeno ganho volumétrico para o maciço da barragem no eixo A e a majoração significativa das escavações obrigatórias do sistema de sangria nesse local, considerou-se mais viável a adoção do eixo original (Inhuçu/Sotero) para o projeto da barragem Inhuçu.

3.1.2. Seção Tipo Do Maciço

As investigações geológicas e geotécnicas da região próxima da barragem indicaram a carência de solos argilosos, areias grossas e rocha com desgaste compatíveis a processos mecânicos de britagem. No entanto, face as grandes escavações de rocha arenítica necessárias a implantação de um sistema de sangria pesquisou-se a viabilidade de um maciço do tipo gravidade em CCR.

Estabeleceu-se uma seção tipo usual para barragens de CCR e quantificando-se os volumes de materiais, realizou-se um orçamento dos grandes itens. Deixou-se de fora todo o tratamento da fundação, injeções, sistema de drenos, vedação das juntas, equipamentos hidromecânicos, instrumentação e demais itens financeiramente menos importantes. A planilha “Inhuçu CCR”, apresentada em **Anexo II.1**, mostra um valor significativamente superior as demais alternativas, sendo, portanto, abandonada.

Diante da escassez de solos argilosos e grande volume de escavações rochosas obrigatórias idealizou-se uma seção tipo de enrocamento com núcleo central de solo areno argiloso, dita seção tipo I-1. Em ambos os contatos solo-enrocamento foram indicadas transições formadas de areia grossa, transição fina (brita) e transição grossa (blocos de arenito). Graficamente esta seção é apresentada no desenho “Seções tipo da barragem Inhuçu, encontrado no **Anexo I.1** .

Uma seção tipo denominada I-2 foi concebida conservando um núcleo central argiloso, espaldar de montante de enrocamento e espaldar de jusante de solo arenoso não plástico, que ocorre em profusão a pequena distância do eixo. A transição enrocamento-núcleo argiloso é semelhante a alternativa I-1 e a jusante do núcleo incluiu-se um dreno vertical de areia conectado a um tapete horizontal, que termina num enrocamento de pé. O de jusante é protegido por um sistema constituído de brita e transição grossa (arenito com $0,15 < D < 0,50$ m). Esta seção é, também, apresentada no desenho “Seções tipo da barragem Inhuçu, no **Anexo I.1**.

Uma última seção tipo, denominada de I-3, foi idealizada do tipo terra zoneada, com espaldar de montante em solo areno argiloso e o de jusante em solo arenoso não plástico. Foi considerado um sistema de drenagem interna semelhante a da seção I-2. O talude de montante é protegido por um rip-rap sobre transições de areia e brita e o talude de jusante por um sistema constituído de brita e transição grossa (arenito com $0,15 < D < 0,50$ m). A seção I-3 é apresentada no desenho “Seções tipo da barragem Inhuçu, no **Anexo I.1**.

Para uma comparação financeira preliminar entre as seções tipo idealizadas, quantificou-se os serviços de custos mais relevantes e que variam entre as seções. Não foram considerados o tratamento das fundações, drenagem superficial, equipamentos hidromecânicos, tomadas d'água, descargas de fundo, instrumentação, expurgo de jazidas, etc. A escavação do sangradouro e transporte de volumes aplicados e excedentes (bota fora) foram considerados na confrontação financeira, pois são relevantes entre as alternativas no que diz ao aproveitamento dessas escavações obrigatórias. As planilhas de custos comparativos para cada seção tipo idealizada são apresentadas no **Anexo II.1**.

No quadro a seguir sintetiza-se os custos relativos das alternativas de seções, compreendendo-se que não representam os custos totais de cada seção tipo, mas sim dos itens significativos que variam entre elas.

Quadro 3.1: Comparativa de Custos Relativos

Barragem Inhuçu - Eixo Inhuçu/ Sotero		
Seção Tipo	Valor Relativo (R\$)	Valor da Seção/ Menor Valor (%)
Tipo I-1	91.551.140,00	20,94
Tipo I-2	75.699.494,00	0,0
Tipo I-3	136.120.369,00	79,82
Tipo CCR	238.907.073,15	215,60

A análise do quadro anterior e das planilhas de custo indica que o menor uso de solo argiloso, que tem um transporte oneroso (16 km), a utilização de solos arenosos não plásticos na zona de jusante, de transporte pequeno (3 km) e o emprego de enrocamento de escavações obrigatórias apenas na zona de montante, que evita transições de areia e/ou brita (transporte de 80 e 100 km), tem forte influência na redução do custo final da seção do maciço da barragem.

No entanto, para a escolha final da seção faz-se necessária a avaliação mais precisa das condições geológicas da região do sistema de sangria, que definirá a qualidade do material e

volumes das escavações obrigatórias do sangradouro. Para isto encontra-se em curso uma campanha de investigação geotécnica, constituída de sondagens mistas.

3.1.3. Arranjo Geral das Obras Principais

No estagio atual do conhecimento idealizou-se um arranjo geral com um maciço zoneado de solo ou solo e enrocamento, ao longo do eixo Inhuçu/ Soterós, com um sistema de sangria posicionado na ombreira direita.

O sistema de sangria foi apresentado para um sangradouro dotado de um muro vertedouro de 150 m de largura. As cotas dos canais de aproximação e de restituição, apresentadas no desenho “Perfil longitudinal do Sangradouro” (**Anexo III.1**), foram estabelecidas, nesse momento, sem as informações da campanha de sondagem em andamento.

O desenho “Perfil Longitudinal do Maciço da Barragem” engloba os levantamentos topográficos já realizados e as informações oriundas dos estudos hidrológicos. A cota do coroamento esta coerente com a largura de 150 metros do sangradouro, embora apenas com o conhecimento da geologia da fundação poder-se-á estabelecer a geometria final do sistema de sangria e, consequentemente, os níveis máximos do reservatório.

O desenho “Arranjo geral das Obras”, que encontra-se no **Anexo III.1**, representa esta concepção preliminar.

3.2. ALTERNATIVAS PARA A BARRAGEM LONTRAS

3.2.1. Eixo da Barragem

Os eixos estudados como alternativas de implantação da barragem Lontras situam-se num trecho onde o rio apresenta uma declividade acentuada (média de 8%), com leito encaixado e ombreiras relativamente suaves.

No eixo Lontras 2 o rio transcorre por um “Canyon” de 35 m de altura, no Lontras 1 por um acidente semelhante, porém com cerca de 15 m de altura e no Lontras numa grota menos abrupta.

Como salientado no relatório parcial nº 01, dentre as alternativas selecionadas para a localização do eixo a alternativa Lontras apresentava-se mais atraente quer em termos de extensão, volume

de maciço e de sistema de execução dos trabalhos. No entanto ressaltava-se que havia sido cogitado uma possível anomalia na ombreira esquerda, que seria investigada por meio de sondagens.



Figura 3.1: Ombreira esquerda do eixo Lontras, onde foi observado indícios de anomalias geológicas que poderiam condicionar o projeto da barragem.

Procedeu-se, então duas sondagens rotativas com diâmetro HX nesta ombreira. Ambas sondagens apresentaram perda do fluido de lavagem, fraturas abertas e preenchidas de várias espessuras, intercalações de solos, instabilidade do furo (tendo de ser permanentemente revestidos) e impossibilidade de realizar ensaios de perda d'água de cinco estágio, por perda total da água injetada. Com estes resultados confirmou-se as adversas condições da fundação na ombreira esquerda deste eixo, que exigiriam escavações de grande profundidade para assegurar uma estanqueidade sob o maciço e uma estabilidade do conjunto maciço- fundação.

Buscou-se então um eixo posicionado a montante deste (600 m pela estrada de terra), onde abriu-se uma picada exploratória e realizou-se uma investigação de superfície para avaliar os aspectos geológicos. Observou-se que as condições geológicas da ombreira esquerda não se assemelham as observadas no eixo Lontras e que de um modo geral são muito mais favoráveis.

Com base nesta constatação implantou-se topograficamente um eixo no local, denominando-o Lontras B, e iniciou-se uma campanha de sondagens na ombreira esquerda para avaliação, mais precisa, das condições geológicas do substrato rochoso.

Na imagem da figura abaixo observa-se a posição do eixo Lontras e do Lontras B.



3.2.2. Seção Tipo Do Maciço

A viabilidade de um maciço do tipo gravidade em CCR foi descartada com base nos estudos realizados para a barragem Inhuçu, tendo em vista que as distancias da Barragem Lontras para as fontes de agregados (areia grossa e brita) são muito semelhantes.

Um importante condicionante considerado na elaboração das alternativas de seção tipo é que as jazidas de solos areno argilosos estudadas, apresentam um volume estimado em 40% de blocos de arenito de diâmetros variáveis (Foto a seguir). Idealizou-se o peneiramento deste material, com a seleção de material inferior a $D= 15$ cm, para uso na execução do aterro, e de blocos entre 15 e 50 cm de diâmetro para uso como transição grossa.

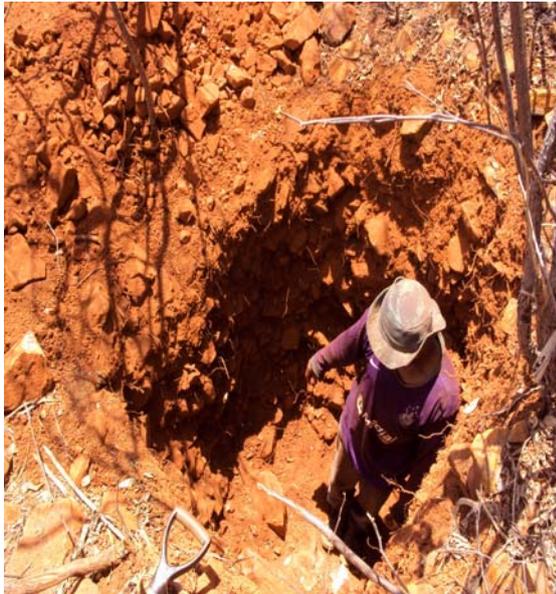


Foto 3.1 - Poços nas jazidas 01 e 02 onde observa-se a presença representativa de blocos rochosos na matriz de solo argiloso

Diante da escassez de solos argilosos e grande volume de escavações rochosas obrigatórias criou-se uma seção tipo de enrocamento com núcleo central de solo areno argiloso, dita seção tipo L-1. Em ambos os contatos solo-enrocamento foram indicadas transições formadas de areia grossa, transição fina (brita) e transição grossa (selecionada por peneiramento). Graficamente esta seção é apresentada no desenho “Seções tipo da barragem Lontras, encontrado no **Anexo I.2** .

Uma seção tipo denominada L-2 foi concebida conservando um núcleo central argiloso, espaldar de montante de enrocamento e espaldar de jusante de solo arenoso não plástico, que ocorre em profusão a pequena distancia do eixo. A transição enrocamento-núcleo argiloso é semelhante a

alternativa I-1 e a jusante do núcleo incluiu-se um dreno vertical de areia conectado a um tapete horizontal, que termina num enrocamento de pé. O talude de jusante é protegido por um sistema constituído de brita e transição grossa ($0,15 < D < 0,50$ m). Esta seção é, também, apresentada no desenho “Seções tipo da barragem Lontras, no **Anexo I.2**.

Uma ultima seção tipo, denominada de L-3, foi idealizada do tipo terra zoneada, com espaldar de montante em solo areno argiloso e o de jusante em solo arenoso não plástico. Foi considerado um sistema de drenagem interna semelhante a da seção L-2. O talude de montante é protegido por um rip-rap sobre transições de areia e brita e o talude de jusante por um sistema constituído de brita e transição grossa ($0,15 < D < 0,50$ m). A seção L-3 é apresentada no desenho “Seções tipo da barragem Lontras, no **Anexo I.2**.

Para uma comparação financeira preliminar entre as seções tipo idealizadas, quantificou-se os serviços de custos mais relevantes e que variam entre as seções. Adotou-se os mesmos critérios relatados para a barragem Inhuçu na seleção dos itens a serem avaliados, incluindo-se o item peneiramento do solo das jazidas areno argilosas. As planilhas de custos comparativos para cada seção tipo idealizada são apresentadas no **Anexo II.2**.

No quadro a seguir sintetiza-se os custos relativos das alternativas de seções, salientando-se que não representam os custos totais de cada seção tipo, mas sim dos itens significativos que variam entre elas.

Quadro 3.2: Comparativa de Custos Relativos

Barragem Lontras - Eixo Lontras		
Seção Tipo	Valor Relativo (R\$)	Valor da Seção/ Menor Valor (%)
Tipo L-1	114.457.938,61	0,0
Tipo L-2	123.812.099,85	8,17
Tipo L-3	160.476.463,93	40,21

Como pode ser observado na tabela anterior e nas planilhas de custo, quanto maior a demanda de volume de solo areno argiloso na seção tipo, maior é o custo total da alternativa, haja visto a forte influencia do custo de peneiramento do material argiloso, para separação dos blocos de rocha.

O Consórcio esta estudando a possibilidade de selecionar zonas das jazidas onde o percentual de blocos seja menor e que tal operação seja prescindível para obtenção do material do núcleo argiloso. Outra tarefa em curso é a análise da composição de custo do DNIT para a operação de peneiramento, diante da das reais necessidades do projeto.

No entanto, é interessante salientar que a escolha da seção mais adequada a obra é influenciada diretamente pela qualidade geológica/geotecnica e pelo volume do material das escavações obrigatórias do sangradouro. Apenas após a realização da campanha de investigação planejada para o local, será possível avaliar estes parâmetros com maior precisão e escolher o emprego dos materiais na seção tipo, de forma mais adequada.

3.2.3. Arranjo Geral das Obras Principais

No estagio atual do conhecimento idealizou-se um arranjo geral com um maciço zoneado de solo ou solo enrocamento, ao longo do eixo da barragem Lontras, com um sistema de sangria posicionado na ombreira direita.

O sistema de sangria foi apresentado para um sangradouro dotado de um muro vertedouro de 80 m de largura. As cotas dos canais de aproximação e de restituição, apresentadas no desenho “Perfil longitudinal do Sangradouro- Barragem Lontras” (**Anexo III.2**), foram estabelecidas, nesse momento, sem as informações da campanha de sondagem em curso.

O desenho “Perfil Longitudinal do Maciço da Barragem Lontras” engloba os levantamentos topográficos já realizados e as informações oriundas dos estudos hidrológicos. A cota do coroamento esta coerente com a largura de 80 metros do sangradouro, embora apenas com o conhecimento da geologia da fundação do local do sistema de sangria, poder-se-á estabelecer a adequabilidade desta largura e, conseqüentemente, os níveis máximos do reservatório.

O desenho “Arranjo Geral das Obras- Barragem Lontras”, que encontra-se no **Anexo III.2**, representa esta concepção preliminar.

3.3. UTILIZAÇÃO DA ÁGUA REGULARIZADA PELOS AÇUDES LONTRAS E INHUÇU

O Consórcio ENGESOFT/IBI deu prosseguimento a análise da alternativa de utilização de toda a água produzida, em decorrência dos açudes Inhuçu e Lontras, na região da Ibiapaba sem transposição para a bacia do Acaraú. A quantidade de água regularizada de cerca de 4 m³/s é relativamente pequena para transpor se considerarmos o alto custo do sistema túnel/PCH, e acarreta valores elevados para a água transposta. Esta alternativa envolve a utilização da água com irrigação de áreas na própria bacia onde é captada (Rios Inhuçu/Macambira). Neste contexto foram levantadas pedologicamente áreas margeando a bacia hidráulica do açude Lontras que poderão ser beneficiadas com irrigação. Os estudos indicaram que cerca de 4.000 há de solos são aptos para irrigação a uma distância de no máximo 3 km da bacia hidráulica do futuro reservatório Lontras. Para a irrigação a água seria captada do lago do reservatório do Açude Lontras por uma captação flutuante em canal de aproximação, bombeada em adutora de aproximadamente 2 km com bombeamento da ordem de 100 m, e distribuída por toda a mancha irrigável por canal gravitário. Esta solução está sendo aprofundada ao nível de viabilidade e deverá ser comparada com a solução proposta inicialmente de transposição por túnel/adutora/PCA.

Figura 3.2: Alternativa de Adução para Utilização na Bacia do Macambira/Inhuçu

(Ant Carlos)

A3

4. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

4. ESTUDOS TOPOGRÁFICOS

Os trabalhos de topografia visando à formação de uma base de dados necessários e suficientes para o desenvolvimento dos projetos constam dos seguintes serviços: Transporte de coordenadas; Transporte de cotas; Levantamento da área dos eixos barráveis, vertedouros, tomadas d'água, canal/túnel e PCH e Levantamento das jazidas.

Até a presente data do 2º Relatório de Andamento da Fase A-3, foram realizados os seguintes quantitativos de serviços relativos aos estudos topográficos:

TOPOGRAFIA	Unidade	Quantidade
Transporte de cota de RN até a barragem	km	104,27
Transporte de coordenadas para eixo da barragem	UNID.	5,00
Locação e Nivelamento do eixo barravel e sangradouro	km	6,06
Locação e nivelamento para linha de transmissão	km	
Locação e nivelamento da poligonal do canal de sangria e calha do rio	km	1,47
Levantamento de jazidas (malha de 100x100 m)	há	74,95
Seccionamento do eixo e sangradouro	km	79,97
Levantamento Plani altimétrico	há	

A seguir descreve-se o desenvolvimento atual de cada um desses serviços.

4.1. TRANSPORTE DE COTAS E DE COORDENADAS

Para apoio a restituição fotogramétrica e aos trabalhos topográficos nos eixos foram realizados, pela empresa Topocart, uma fase de planejamento e as seguintes atividades de campo:

- Transporte de coordenadas a partir de 03 vértices oficiais do SGB dentre eles 02 (dois) da RBMC;
- Transporte de Cotas a partir de RNs Oficiais do IBGE;
- Levantamento e implantação de 02 pontos da rede de apoio básico;
- Levantamento e pré-sinalização de 11 pontos para o apoio suplementar.

A execução do apoio básico é precedida da etapa de planejamento, que tem como objetivo escolher as melhores alternativas referentes à utilização de pontos planimétricos e altimétricos, que compõem a Rede Oficial do IBGE.

4.1.1. Planejamento

Anteriormente aos trabalhos de campo, realizou-se um planejamento das atividades a fim de proporcionar um rendimento satisfatório, com grau de precisões adequado ao trabalho em questão, com a seguinte sequência de atividades:

- Consulta ao IBGE sobre a existência de pontos geodésicos planialtimétricos, sendo preferencialmente escolhidos os vértices da rede geodésica, próximos à área abrangida pelo projeto;

Planejamento dos pontos de apoio suplementar, afim de geoespacializa-los de forma homogêna.

- Seleção dos equipamentos de campo e equipe técnica, necessários para execução dos levantamentos.

Partindo-se das monografias disponibilizadas pelo IBGE, realizou-se o reconhecimento dos vértices existentes, de forma a garantir a sua utilização no Apoio Básico. O reconhecimento dos vértices consistiu ainda na verificação do estado físico dos monumentos, das condições para rastreamento por posicionamento de satélites, acessibilidade, tempo de percurso e necessidade de apoio logístico.

As monografias dos vértices, que foram utilizadas para cálculo e transporte de coordenadas, são apresentadas no **Anexo IV.1**.

4.1.2. Sistema Geodésico Empregado

Os pontos da Rede de Apoio Básico possuem coordenadas planimétricas e altimétricas determinadas de acordo com o Sistema Geodésico Brasileiro. O referencial altimétrico do IBGE coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio dos mares, definidos pelas observações maregráficas tomadas na Baía de Imbituba-SC.

SIRGAS2000

- Nomenclatura oficial:

Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas.

- Sistema Geodésico de Referência:

Sistema de Referência Terrestre Internacional - ITRS (*International Terrestrial Reference System*).

- Figura geométrica para a Terra:

Elipsóide do Sistema Geodésico de Referência de 1980 (*Geodetic Reference System 1980 – GRS80*);

Semieixo maior $a = 6.378.137\text{m}$;

Achatamento $f = 1/298.257224$.

- Origem:

Centro de massa da Terra (Geocêntrico).

- Orientação:

Polos e meridiano de referência consistentes em $\pm 0.005''$ com as direções definidas pelo *BIH* (*Bureau International de l'Heure*), em 1984,0.

- Estações de Referência:

21 estações da rede continental SIRGAS2000, estabelecidas no Brasil e identificadas formam a estrutura de referência a partir da qual o sistema SIRGAS2000 é materializado em território nacional. É incluída nesse conjunto a estação SMAR, pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC), cujas coordenadas foram determinadas pelo IBGE posteriormente à campanha GPS SIRGAS2000.

- Época de Referência das coordenadas:

2000,4.

- Materialização:

Estabelecida por intermédio de todas as estações que compõem a Rede Geodésica Brasileira, implantadas a partir das estações de referência.

SAD69

- Nomenclatura oficial:

South American Datum 1969.

- Figura geométrica para a Terra:

Elipsóide Internacional de 1967 (UGGI 67);

Semieixo maior $a = 6.378.160\text{m}$;

Achatamento $f = 1/298,25$.

Parâmetros referentes ao posicionamento espacial do elipsóide:

Orientação Geocêntrica;

Eixo de rotação paralelo ao eixo de rotação da Terra; plano meridiano, origem paralelo ao plano meridiano de *Greenwich*, como definido pelo BIH;

Orientação topocêntrica;

Ponto Datum = Vértice de triangulação Chuá;

$\varphi_G = 19^\circ 45' 41,6527'' \text{ S}$;

$\lambda_G = 48^\circ 06' 04,0639'' \text{ WGr.}$;

$\varphi_A = 19^\circ 45' 41,34'' \text{ S}$;

$\lambda_A = 48^\circ 06'07,80''$ WGr.;

$A_G = 271^\circ 30' 04,05''$ SWNE para VT-Uberaba;

$N = 0,0$ m.

Onde:

φ_G = Latitude Geodésica;

φ_A = Latitude Astronômica;

λ_G = Longitude Geodésica;

λ_A = Longitude Astronômica;

A_G = Azimute Geodésico;

N = Ondulação Geoidal.

SAD69 -> SIRGAS2000

$\square x = -67.35\text{m}$ $\Delta x = 0.00\text{m}$

$\square y = +3.88\text{m}$ $\Delta y = 0.00\text{m}$

$\square z = -38.22\text{m}$ $\Delta z = 0.00\text{m}$

4.1.3. Vértices Oficiais Utilizados no Apoio Básico

Após o reconhecimento dos pontos existentes, optou-se pela utilização dos vértices planimétricos da Rede Fundamental do IBGE pertencentes também à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC): SAT92449 (RNMO) e SAT93950 (SALU). O referencial altimétrico utilizado foi composto pela Referência de Nível: RN2596-X.

Um resumo dos dados desses vértices geodésicos utilizados é apresentado a seguir e as monografias oficiais são apresentadas no **Anexo IV.2** deste relatório.

Pontos Planimétricos:

SAT92449

SAT93950

Pontos Altimétricos (RN's):

RN2596-X

4.1.4. Monumentação e Implantação dos vértices da Rede de Apoio Básico

A monumentação foi feita por marcos de concreto armado, resistentes, da forma tronco-piramidal, medindo 0.10 x 0.15 x 0.40m (base superior, base inferior e altura). Os marcos foram cravados com profundidade de 0.30m, aflorando aproximadamente 0.10m do solo. Foi cravada uma chapa de latão circular de 3cm de raio com as seguintes identificações:

- Nome da empresa executora;

Nº. do vértice;

Ano de implantação;

A inscrição “*Protegido por Lei*”

A **Figura 4.1** mostra o modelo do marco utilizado para a Rede de Apoio Básico, bem como as dimensões, forma de implantação e para os PAs temos o modelo da chapa de identificação e caracterização.

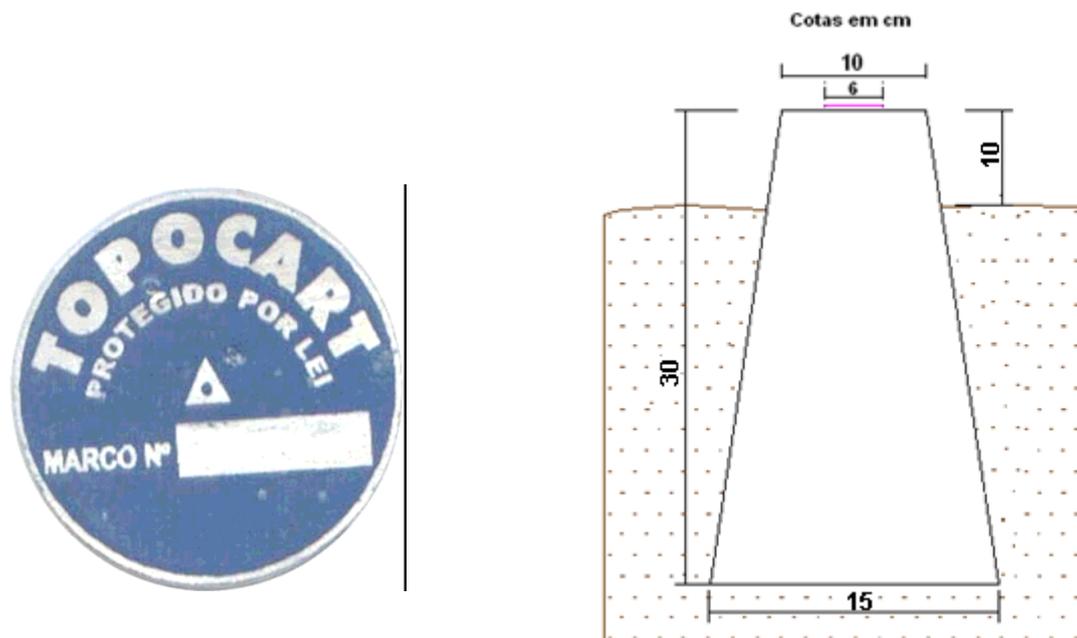


Figura 4.1: Modelo de chapa e croqui dos marcos de concreto implantados

A escolha do local de implantação dos marcos foi feita com objetivo de otimizar as etapas posteriores de apoio suplementar e serviços topográficos, e levou-se em conta alguns critérios para facilitar o trabalho e garantir as precisões requeridas:

- Locais de fácil acesso, porém protegidos e reservados de forma a impedir ou diminuir o risco de destruição dos marcos;

Horizonte livre para o rastreamento por posicionamento de satélites, evitando interferências e perda de sinal em função de obstáculos físicos;

Distribuição dos vértices estrategicamente de forma a atender os requisitos da Especificação Técnica quanto ao espaçamento máximo de 20km, tendo em vista a realização do apoio fotogramétrico;

Essa distância, além de apoiar as obras futuras, visa garantir que a influência do erro altimétrico, devido à variação da Ondulação Geoidal (N), seja desprezível para a respectiva escala.

Um resumo dos dados dos vértices implantados é apresentado a seguir, no **Quadro 4.1**, sendo que as monografias destes pontos com as informações completas encontram-se no **Anexo IV.3** e a listagem de processamento e ajustamento da Rede de Apoio Básico deste projeto encontram-se no **Anexo IV .4** do presente relatório.

Quadro 4.1: Resumo das Coordenadas Geodésicas – SIRGAS2000 e Altitudes Ortométricas

Vértice	Coordenada Geodésica		Altitude Geométrica (m)	Foto
	Coordenada Plana (UTM/MC39° WGr)			
	Latitude (S) E (m)	Longitude (WGr) N (m)		
PA01	4°20'58.68663" 277338.965	41°00'22.79384" 9518929.598	556.587	
PA02	4°28'02.71629" 290764.249	40°53'08.52804" 9505937.425	593.474	
INHAÇU-01	4°20'14.93264" 284830.423	40°56'19.76421" 9520293.389	633.074	
INHAÇU-02	4°19'53.00984" 284089.915	40°56'43.71989" 9520965.010	555.807	

Pré-sinalização do Apoio Suplementar

No que se refere ao Apoio Suplementar ou Fotogramétrico, este servirá para apoiar as fotografias aéreas métricas, a fim de proporcionarem coordenadas em um dado Sistema de Referência Terrestre. Para isto, realizou-se essa tarefa por meio de pré-sinalização em campo, através de marcações que antecedem ao momento da cobertura aerofotogramétrica. Foram planejados 11 pontos em campo para serem posteriormente utilizados na aerotriangulação como pontos de apoio.

As marcas pré-sinalizadas comumente denominadas GCP – *Ground Control Point* foram feitas de tal forma, que tenham o necessário contraste com o solo, a fim de que se destaquem e sejam perfeitamente visíveis nas fotos aéreas.

Para a escala de voo em questão, adotaram-se na elaboração das marcas as dimensões e formas, tal como apresentado na **Figura 4.2**.

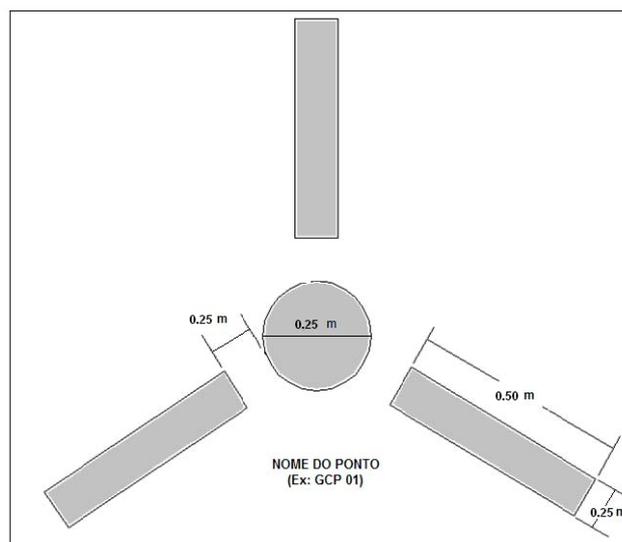


Figura 4.2: Dimensões das marcas de sinalização do Apoio Suplementar.



Figura 4.3: GCP-07



Figura 4.4: GCP-09

4.1.5. Determinação das coordenadas dos pontos do Apoio Suplementar

Os pontos foram ocupados por receptores GNSS geodésico de dupla frequência L1/L2, de modo a garantir as precisões requeridas para essa etapa e processos posteriores. Estes pontos foram calculados no sistema de referência SIRGAS 2000, bem como os processos posteriores (Ortorretificação, Restituição e Edição Cartográfica).

Quadro 4.2: Quadro resumo dos pontos de apoio suplementar.

SIRGAS2000 – FUSO 24 SUL			
PONTO	NORTE	ESTE	ALTITUDE GEOMÉTRICA
PA01	277338.97	9518929.60	556.587
PA02	290764.25	9505937.43	593.474
GCP01	282238.922	9497750.567	490.873
GCP02	286501.418	9496887.958	547.012
GCP03	291213.128	9497494.443	652.028
GCP04	283725.906	9512235.594	575.567
GCP05	287075.977	9512947.244	529.516
GCP06	291952.640	9512535.126	628.115
GCP07	272884.882	9523532.194	629.588
GCP08	277864.693	9524812.796	715.236
GCP09	281048.587	9527678.919	621.574
PC01	285317.545	9503117.900	507.829
PC02	284271.660	9520338.040	561.736
INHAÇU 01	284830.423	9520293.389	633.074
INHAÇU 02	284089.915	9520965.010	555.807
JACARÉ 01	282891.247	9498817.828	485.610

4.1.6. Determinação das Altitudes Ortométricas do Pontos de Apoio Básico

Para a obtenção das altitudes ortométricas dos pontos de apoio Básico utilizou-se de nivelamento geométrico. O circuito esra executado partindo de sempre de RN pertencente à rede altimétrica do IBGE conforme citado no tópico “Vértices Oficiais Utilizados no Apoio Básico”. Utilizou-se a metodologia de levantamento em circuito fechado em 1 ou 2 pontos, sempre atendendo as precisões estabelecidas pela Norma Técnica NRB13133 como de Nivelamento de Primeira Ordem

que estabelece precisão de $12 \text{ mm} \times \sqrt{\text{km}}$.

Com o fechamento realizado dentro da tolerância estabelecida o erro foi distribuído linearmente em função da distância percorrida dividida pela distância total do circuito. As memórias de cálculo do nivelamento encontram-se no **Anexo VI.5**.

– **Circuito RN2596V-PA01-RN2596V:**

O circuito 01 (um) teve sua partida no vértice RN2596V e foi desenvolvido por **104.274** km passando pelo PA 01 retornando a mesma RN em virtude a ausência de outras na área, com erro de 0.103m, melhor que a Tolerância de 0.122m estabelecida para a Classe IN.

4.1.7. Determinação das Altitudes Ortométricas do Pontos de Apoio Suplementar

4.1.7.1. Nivelamento GNSS utilizando MAPGEO

O levantamento altimétrico feito por posicionamento de satélites realizado nessa etapa, chamado de Nivelamento GPS/MAPGEO, consiste basicamente no transporte de altitudes para os demais vértices da Rede de Apoio Básico, a partir dos vértices de referência de nível pertencentes obtida pelo Nivelamento Geométrico.

O transporte de coordenadas para os vértices foi realizado a partir de rastreamento simultâneos GPS, onde foram fixadas as altitudes geométricas obtidas a partir da RBMC. Posteriormente, realizou-se o transporte das altitudes geométricas para os GCPs, onde após a determinação das mesmas, foram calculadas as altitudes ortométricas utilizando a ondulação geoidal obtidas pelo MAPGEO, de acordo com a seguinte expressão:

$$H = h - N,$$

onde **H**= altitude ortométrica, **h**= a altitude geométrica e **N**=a ondulação geoidal

Conforme observado durante a etapa de Nivelamento, a divergência encontrada na altitude ortométrica no marco analisado PA01 ficou na casa dos 0,14 m quando comparado com a altitude obtida a partir do MAPGEO2010. Desta maneira toda a ondulação encontrada no MAPGEO sofreu um fator de correção, esse fator é baseado na média entre a ondulação calculada e a fornecida pelo MAPGEO para os Marcos adotados. Assim sendo, para este projeto, toda altitude ortométrica será obtida pela correção da ondulação geoidal encontrada no MAPGEO2010 em 14cm.

A ondulação do geóide fornecida pelo IBGE e é ilustrada na **Figura 4.5**.

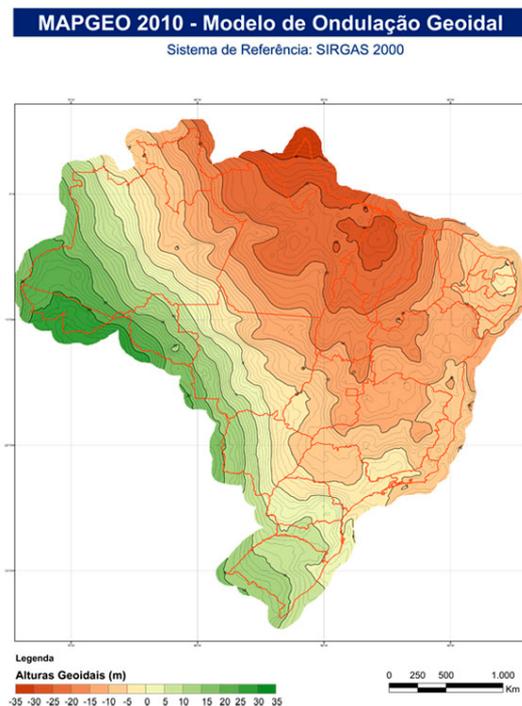


Figura 4.5: Variação das ondulações do geóide em SIRGAS2000

(Fonte IBGE, 2010)

A **Figura 4.6** apresenta o Erro Médio Padrão das diferenças oriundas pelo MAPGEO2010 na comparação entre as estações GPS e as RN's.

Discrepâncias entre o Modelo de Ondulação Geoidal 2010 e os pontos GPS/RN

Sistema de Referência: SIRGAS 2000

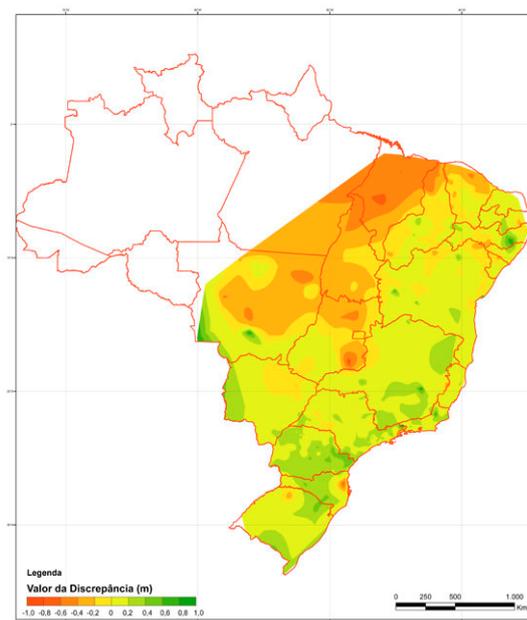


Figura 4.6: Distribuição do Erro Padrão obtido a partir da comparação entre estações GPS e RN's

(Fonte IBGE, 2010)

Abaixo segue o Quadro com os valores obtidos:

Quadro 4.3: Quadro resumo Cálculo da Altitude Ortométrica (N) do apoio Suplementar

SIRGAS2000 – FUSO 24 SUL						
PONTO	ESTE	NORTE	ALTITUDE GEOMÉTRICA	ONDULAÇÃO GEOIDAL MapGeo2010	Fator Correção	ALTITUDE ORTOMÉTRICA
PA01	277338.965	9518929.598	556.587	-14.63	0.144	571.361
PA02	290764.249	9505937.425	593.474	-14.58	0.144	608.198
GCP01	282238.922	9497750.567	490.873	-14.87	0.144	505.887
GCP02	286501.418	9496887.958	547.012	-14.74	0.144	561.896
GCP03	291213.128	9497494.443	652.028	-14.62	0.144	666.792
GCP04	283725.906	9512235.594	575.567	-14.60	0.144	590.311
GCP05	287075.977	9512947.244	529.516	-14.52	0.144	544.180
GCP06	291952.640	9512535.126	628.115	-14.48	0.144	642.739
GCP07	272884.882	9523532.194	629.588	-14.70	0.144	644.432
GCP08	277864.693	9524812.796	715.236	-14.51	0.144	729.890
GCP09	281048.587	9527678.919	621.574	-14.38	0.144	636.098
PC01	285317.545	9503117.900	507.829	-14.71	0.144	522.683
PC02	284271.660	9520338.040	561.736	-14.43	0.144	576.310
INHAÇU 01	284830.423	9520293.389	633.074	-14.41	0.144	647.628
INHAÇU 02	284089.915	9520965.010	555.807	-14.42	0.144	570.371
JACARÉ 01	282891.247	9498817.828	485.610	-14.84	0.144	500.594

4.1.7.2. Aerotriangulação

O objetivo da aerotriangulação é calcular os parâmetros de orientação externa das imagens, tendo como resultado as coordenadas X, Y e Z dos centros perspectivos e os ângulos Omega (ω), Phi (φ) e Kappa (κ) no momento da tomada das fotos com precisão compatível com a escala final que se deseja.

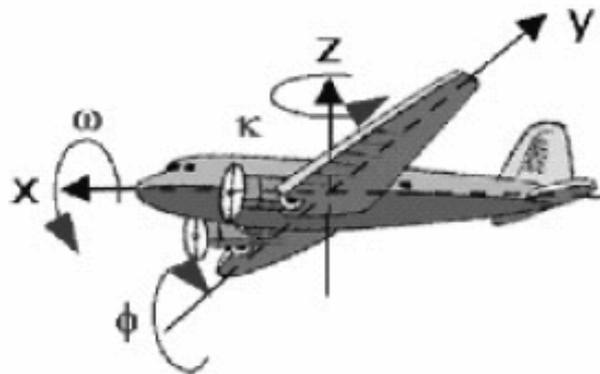


Figura 4.7: Parâmetros de Orientação Exterior.

Para o desenvolvimento da aerotriangulação, a TOPOCART adotou o método ISO – *Integrated Sensor Orientation* com a introdução das medições GPS/INS provenientes do receptor GPS e do IMU, somado aos dados dos pontos de apoio do terreno e dos pontos na imagem.

O método ISO corresponde ao processo de aerotriangulação, tendo como dados de entrada as informações de GPS/INS precisas, obtidas durante a cobertura aérea através de equipamentos precisos, que após processamento conjunto GPS/INS, utilizando filtro de Kalman, têm-se as trajetórias reais executadas pela aeronave e conseqüentemente as coordenadas e giros para cada fotografia obtida. Com isso o software de processamento de aerotriangulação obtém seu desempenho máximo, uma vez que a área de busca para correlação de pixel é muito menor já que as imagens encontram-se georreferenciadas com precisão.

A quantidade e a distribuição dos pontos foram planejados de modo a garantir as precisões esperadas no resultado da aerotriangulação para a elaboração dos produtos cartográficos na escala 1:5.000.

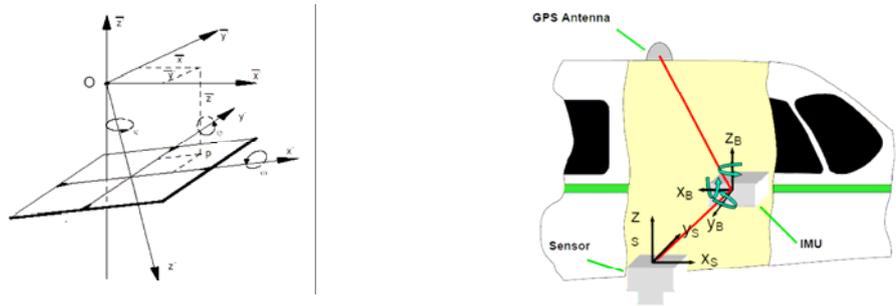


Figura 4.8: Elementos necessários à orientação exterior e sua obtenção direta durante o voo para o emprego do Método ISO - Integrated Sensor Orientation na aerotriangulação.

4.1.8. Software Utilizado

Na execução da aerotriangulação a TOPOCART utilizou o software Match-AT da empresa *Inpho*. O modelo de ajustamento é baseado no método de feixes perspectivas (*bundle block*) sendo a unidade do processo a imagem. O Match-AT é um programa computacional voltado à aerotriangulação automática e assistida.

Em síntese, pode-se mencionar os seguintes diferenciais do software, utilizado na etapa de aerotriangulação:

- Rigoroso ajustamento pelo método de feixes perspectivas (*blundle block*), permitindo o ajuste de blocos de diferentes tamanhos e formas;
- Disponibilização de várias ferramentas de análise espacial e visualização de relatórios, facilitando a interpretação dos dados, a intervenção do usuário na identificação e a correção de possíveis inconsistências;
- Procedimentos de correlação altamente sofisticados. Para tanto, utilizam-se modelos matemáticos e estatísticos robustos;
- Destaca-se também sua interface perfeitamente estruturada para utilização dos dados provenientes do voo apoiado, convergindo os resultados finais do ajuste em menor tempo e com maior acurácia.

4.1.9. Diferenciais da metodologia aplicada na aerotriangulação

A TOPOCART realizou o processo da aerotriangulação de forma totalmente digital, a partir das fotos aéreas obtidas pela câmera digital UltraCam Xp. A seguir, são descritas algumas vantagens do processo de aerotriangulação, realizado na fotogrametria digital quando comparados ao método tradicional.

A fotogrametria digital não tem perda de precisão por desgaste natural das peças analógicas e pela transmissão de ampliações foto/modelo através de engrenagens.

A transferência de pontos de um modelo para outro é realizada facilmente pelo operador, visualizando simultaneamente os dois modelos digitais em questão ou através dos modelos matemáticos de correlação, sem a necessidade de perfurar a emulsão dos diapositivos como é feito nos instrumentos analógicos/analíticos.

O modelo digital é orientado somente uma vez, já nos instrumentos analógicos/analíticos é necessário realizar uma nova orientação para cada reposição do modelo, para possíveis releituras.

4.1.10. Etapas do processo de aerotriangulação

Inicialmente, introduziu-se no software Match-AT todas as informações relevantes para a concepção do projeto, o estabelecimento dos padrões de precisão do ajustamento, bem como os dados do sensor utilizado (certificado de calibração da câmera digital UltraCam Xp).

Com a determinação dos dados provenientes do voo apoiado (coordenadas dos centros perspectivos e os ângulos das fotografias) e a disponibilização das imagens da região de estudo, os modelos foram preliminarmente orientados no software Match-AT.

Através das ferramentas robustas de correlação, geraram os pontos de enlace (*Tie Points*) entre os modelos, inseridos através da leitura em estéreo aos pontos coletados no apoio suplementar.

Após a conclusão das etapas anteriormente mencionadas realizou-se o ajustamento do bloco, observando os resultados estatísticos e a análise gráfica da distribuição e a amarração dos *Tie Points*.

Os valores calculados da orientação exterior foram exportados para serem futuramente utilizados pelas estações fotogramétricas de restituição na orientação dos modelos estereoscópicos. O sistema cartográfico utilizado foi o SIRGAS 2000.

A seguir, é descrito um resumo da etapa do processo de aerotriangulação

DADOS DE ENTRADA

- Centros de projeção e ângulos aproximados das fotografias determinados pelo receptor GPS e IMU durante a cobertura aerofotogramétrica;
- Imagens Digitais em formato TIFF;
- Pontos de Controle de Campo (Apoio Suplementar);
- Dados Adicionais (altura média do terreno e informações do certificado de calibração da câmera).

CÁLCULO

- Geração do Projeto AT: introdução das coordenadas e giros (devidamente pós-processados na etapa de cobertura aerofotogramétrica), os dados de entrada como calibração da câmera, coordenada dos pontos de apoio e de verificação, altura média do terreno, altura do voo e imagens digitais (geração das imagens piramidais, tamanho do pixel e orientação da digitalização das fotos);
- Orientação Interna: para processamento da orientação interna das imagens obtidas pela câmera digital UltraCam Xp foi necessário a inserção dos dados do certificado de calibração (distância focal, posição do ponto de autocolimação, posição do ponto principal, correção de esfericidade e correção de refração);
- Inicialização: a inicialização do processo permite definir a localização das áreas de Von Gruber, os pontos de partida são os valores aproximados de X, Y, Z, Omega (ω), Phi (φ) e Kappa (κ);

- Geração dos Tie Points ou Pontos de Enlace: na aerotriangulação automática gerou-se um grande número de pontos, de maneira automatizada, nas áreas conhecidas como de Gruber. Estes pontos são responsáveis pela ligação de modelos e faixas (Figura 5.9);
- Medição dos Pontos de Apoio: realizada a geração dos Tie Points, a leitura dos pontos de apoio suplementar é feita de modo assistida e em estéreo, assegurando a perfeita localização e consistência de cada ponto (Figura 5.10);
- Pós-processamento: nesta fase é realizado o processamento matemático do bloco, descrevendo os residuais dos pontos de enlace (Tie Points), controle (GCP) e verificação (check). É usado o sistema de detecção de erros denominado de “Automatic blunder detection”. A análise do resultado é feita em forma gráfica e numérica, sendo prevista o número de interação necessária até a convergência dos resultados estabelecidos (Figura 5.11).

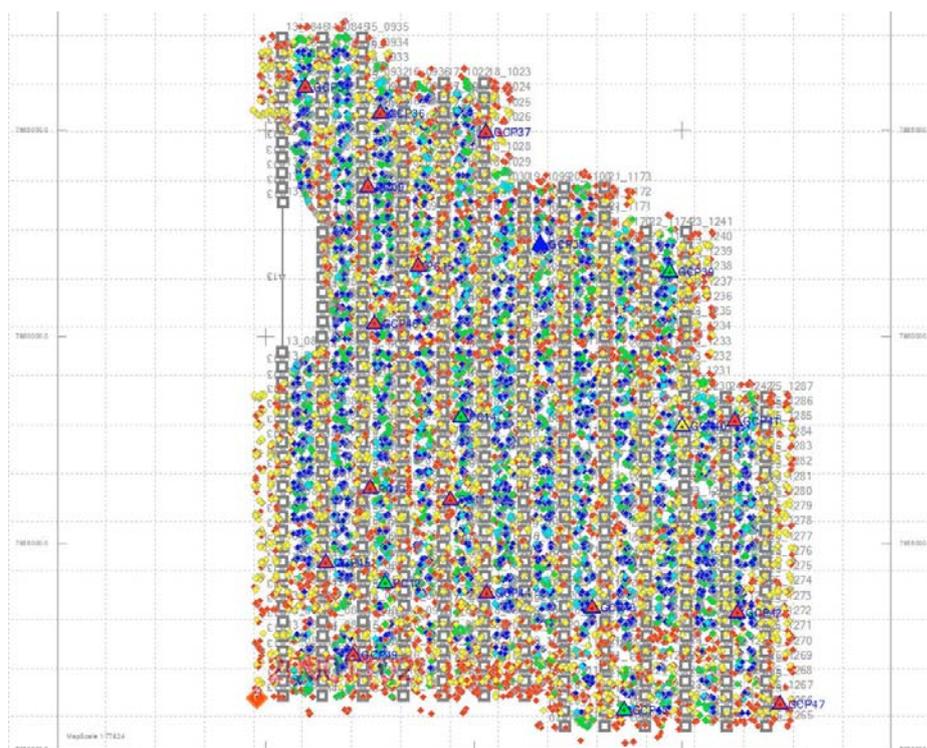


Figura 4.9: Exemplo da distribuição automática dos pontos de enlace gerados no software Match-AT, após o processo de correlação automática.

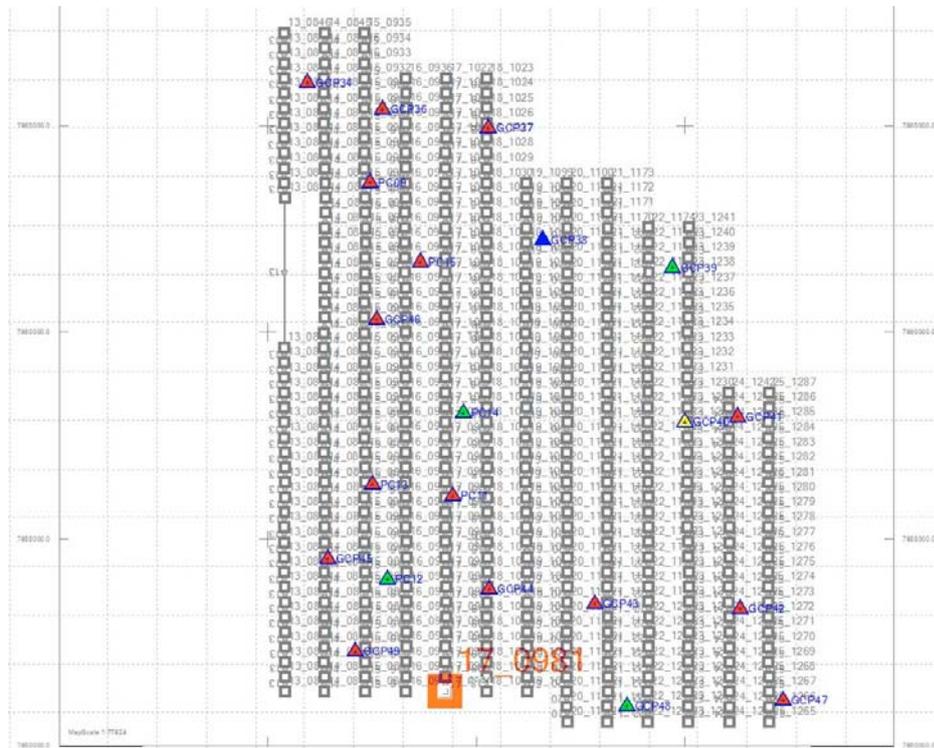


Figura 4.10: Exemplo da distribuição dos pontos de apoio inseridos no bloco de aerotriangulação.

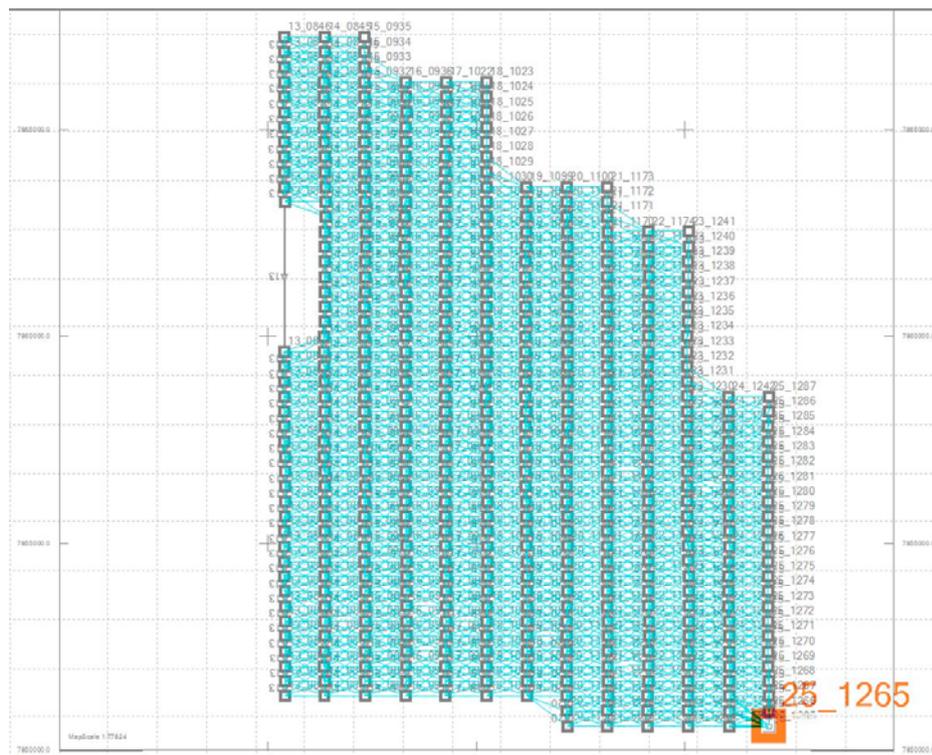


Figura 4.11: Exemplo da análise gráfica da distribuição e amarração dos Tie Points. Cada vetor (cor azul) representa a ligação entre os pontos de enlace e suas respectivas leituras nos modelos. Nota-se pelo grande volume de pontos determinados, a alta rigidez e eficiência do modelo matemático de correlação do Match-AT.

4.1.11. Análise da Qualidade da Aerotriangulação e Resultados Obtidos

Durante o processo de aerotriangulação realizou-se um rigoroso controle de qualidade de todas as etapas, dentre as quais: análise da orientação interna, verificação da densidade e distribuição dos *Tie Points* e avaliação dos resultados estatísticos, destacando o estudo comparativo das coordenadas dos pontos de controle. Será apresentado a seguir, um resumo dos índices obtidos após a conclusão do ajuste.

RMS automatic points in photo (number: 293773)

x	0.9 micron
y	0.8 micron

RMS control and manual points in photo (number: 403)

x	1.0 micron
y	0.8 micron

RMS control points with default standard deviation set (number: 64116)

x	0.001 [meter]
y	0.000 [meter]

RMS control points with default standard deviation set (number: 64121)

z	0.000 [meter]
---	---------------

RMS IMU observations (number: 587)

omega	0.006 [deg]
phi	0.007 [deg]
kappa	0.030 [deg]

RMS GNSS observations (number: 587)

x	0.088 [meter]
y	0.079 [meter]

4.2. LEVANTAMENTO DO EIXO BARRÁVEL, VERTEDOIRO E ADUÇÃO

O eixo Lontras foi estaqueado de 20 em 20 metros, situando-se a estaca zero na ombreira direita e estaca final 69 na ombreira esquerda. Uma alternativa, neste mesmo sítio, foi estudada com uma inflexão para jusante (dita Lontras A), visando uma comparação de redução de volume de maciço. O eixo Lontras e Lontras A totalizaram 2798 metros de locação e nivelamento de eixo.

Com a confirmação das condições adversas da ombreira esquerda locou-se o eixo Lontras B, também com estaca inicial na ombreira direita e estaca final 60+19,00 na ombreira esquerda, totalizando uma extensão de 1219 metros.

No eixo Inhuçu/Soters implantou-se um eixo a partir do eixo originalmente materializado, com a finalidade de potência de elementos para o estudo desta alternativa. Este eixo, dito eixo Reto, partiu da estaca 49+19,55 e foi estaqueado de 20 em 20 metros ate a estaca xx na ombreira direita, totalizando xx m de nova locação.

4.3. LOCAÇÃO E NIVELAMENTO DA POLIGONAL DO CANAL DE SANGRIA E DA CALHA DO RIO

No eixo Lontras B realizou-se, sobre a base cartográfica obtida pelo satélite Geo-eyes, a escolha do eixo do canal de restituição do caudal de sangria, até a calha do rio. A locação deste eixo a cada 20 metros, nivelamento e seções com 80 metros de largura, para cada lado, encontra-se em fase de execução. Todos os pontos estão sendo nivelados a partir das mesmas bases usadas para o eixo da barragem.

4.4. LEVANTAMENTO DE JAZIDAS (MALHA 100 X 100)

Todas as cavas de sondagem realizadas nas jazidas Lontras01, Lontras02 e 02A e Lontras 03 e 03A tiveram suas coordenadas registradas através de estação total e com GPS de precisão, a partir do monumento Jacaré, materializado pela Topocart. Os desenhos do levantamento de todas as áreas de jazidas de Lontras encontram-se apresentados no Anexo IV.2.

Na tabela seguinte são resumidas a área de levantamento das jazidas.

Jazida	Área levantada (há)
J-01	21,33
J-02	20,86
J-02 A	5,48
J-03	14,06
J-03 A	13,22
TOTAL GERAL	74,95

4.5. SECCIONAMENTO DO EIXO E SANGRADOURO

Para englobar uma região suficiente para o estudo de diversas alternativas de seções do maciço e dispositivo de sangria da barragem Lontras, no eixo B, seccionou todas as estacas do eixo de

forma a abranger uma faixa de domínio de 150 metros para cada lado. A montante do elemento de sangria as seções estenderam-se além desse valor (chegando até a 300 m), de forma a englobar todo um possível canal de aproximação. Na região do canal de restituição do caudal de sangria, as seções prolongaram-se até 150 m para cada do eixo deste canal.

No **Anexo V.1** são apresentadas planilhas com todos os pontos locados e nivelados para a barragem Lontras – eixo B, englobando o eixo da barragem, eixo do sangradouro, canal de restituição ao rio e canal de aproximação do sangradouro.

5. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

5. INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS

Os estudos geotécnicos previstos no âmbito dos estudos básicos consistem basicamente da caracterização do subsolo nos locais das barragens, sangradouros, tomadas d'água, canal/túnel e da hidrelétrica, da localização e investigação das ocorrências dos materiais naturais a serem empregados na construção das barragens e das obras de adução e geração de energia, através de prospeções diretas dos locais das obras e das ocorrências e de ensaios de laboratoriais.

Até a presente momento da Fase A-3, foram realizados os seguintes quantitativos de serviços relativos aos estudos geotécnicos:

GEOTECNIA	Unidade	Quantidade
1 Sondagem a pá e picareta	m	
2 Sondagem a percussão	m	7,35
3 Sondagem rotativa em rocha D= NX	m	87,75
4 Sondagem rotativa em rocha D= HX	m	155,55
5 Ensaio de perda d'água, com 5 estagios de pressão	UNID.	107
6 Ensaio de infiltração in situ	UNID.	5
7 Sondagem a pá e picareta- argila	m	884,09
8 Sondagens a trado- areia	m	40
9 Ensaio de granulometria sem sedimentação	UNID.	53
11 Ensaio de granulometria com sedimentação	UNID.	
12 Limite de liquidez	UNID.	46
13 Limite de plasticidade	UNID.	46
14 Peso específico	UNID.	46
15 Umidade natural	UNID.	53
16 Proctor normal	UNID.	46
17 Permeabilidade (Carga variável)	UNID.	2
18 Cisalhamento direto lento	UNID.	
19 Los Angeles	UNID.	2
20 Granulometria areais	UNID.	
21 Permeabilidade (carga constante)	UNID.	5

5.1. SONDAGENS PERCUSSIVAS E ROTATIVAS

As sondagens mecânicas tem por finalidade o fornecimento de elementos para a elaboração dos perfis geológico-geotécnicos representativos contendo a descrição dos materiais das diferentes camadas, as resistências à penetração e outras informações que possam interessar na interpretação das sondagens, bem como quaisquer anomalias observadas no decorrer das perfurações, como perda d'água de circulação, desmoronamento de paredes, etc.

As sondagens percussivas estão sendo realizadas com circulação d'água e cravação de tubos de revestimento de 2 1/2" de diâmetro interno, determinando-se a cada metro de profundidade a resistência à penetração das camadas de solos perfuradas. As camadas de solos atravessados por estas sondagens serão submetidos a ensaios de infiltração (tipo Le Franc) para avaliação da suas permeabilidades.

As sondagens rotativas foram especificadas nos Termos de Referencia para serem executadas com diâmetro NX , objetivando a obtenção de testemunhos, que permitam a identificação das características e descontinuidades do maciço rochoso. No entanto, verificou-se que com tal diâmetro o coeficiente de recuperação da rocha arenítica ficava muito abaixo dos 85% estipulados como mínimo aceitável. Para a obtenção de testemunhos com extensão o mais próximo das manobras realizadas, o Consórcio Engesoft/IBI decidiu pelo uso de diâmetro HX, maior e de custo mais elevado. O uso de diâmetro maior que o previsto possibilitou uma recuperação superior a 85%, permitindo uma análise mais consistente do estado de alteração da rocha, seus fraturamentos, falhas e outras anomalias. Ensaio de perda d'água foram programados "a priori" para serem executados a cada 3,0 m , de forma descendente. No entanto, nos locais de perda de liquido de circulação ou de elevada perda d'água as extensões serão reduzidas de forma a se indentificar exatamente o local de grande condutibilidade hídrica.

Como salientado anteriormente no eixo Lontras foram realizadas duas sondagens para avaliar as características anômalas da ombreira esquerda. Com os resultados destas investigações partiu-se para a investigação de um eixo alternativo (Eixo B).

O plano de sondagem preliminar para a barragem Lontras, no eixo B, é apresentado **Planta 01/01**, situado no **Anexo VI.1**, tendo sido o de Inhuçu apresentado no relatório parcial nº01. Lembra-se que este plano será readequado conforme os resultados das sondagens, para investigar possíveis

anomalias da fundação ou para comportar alguma estrutura específica desenvolvida no arranjo das obras. Desta programação inicial foi realizada a sondagem SM-11 e encontra-se em realização a sondagem SM-12, ambas situados na ombreira esquerda.

No **Anexo VI.2** apresenta-se o boletim de campo das sondagens realizadas na região da anomalia do eixo Lontras e a sondagem posicionada no eixo Lontras B além das sondagens do plano idealizado para o eixo Inhuçu/Sotero.

Estudo dos Materiais Construtivos

A ocorrência de materiais construtivos foi investigada preliminarmente através de reconhecimento geral da região de entorno das obras, por uma equipe constituída por um engenheiro geotécnico, um geólogo, um engenheiro barragista e um chefe de laboratório. Inicialmente concentrou-se na região situada dentro das possíveis bacias hidráulica dos barramentos e em áreas já exploradas ou em exploração.

As áreas identificadas como possíveis de investigação, assim com as indicadas por representantes de autarquias estaduais (DER-CE, CAGECE) e municipais (secretarias de obras de Croatá, Carnaubal e Guaraciaba do Norte), foram repassadas a uma equipe de geotecnia que procedeu as sondagens exploratórias, ensaios de caracterização e permeabilidade.

Constatou-se a escassez de solos argilosos, areias médias e grossas e rochas de dureza satisfatória e de elevada resistência ao desgaste. Existe abundância de areias finas siltosas e rochas areníticas pouco consolidadas.

A montante do eixo Lontras foram selecionadas três ocorrências de solos areno argilosos envolvidos em grande percentual de fragmentos de rochas areníticas, de dimensões variadas. Na ombreira esquerda foram demarcadas a jazida 01, com 90 furos de sondagem manual, a jazida 02, com 117 furos e, nesse período concluiu-se a jazida 03, com 85 furos.

A jusante da barragem Inhuçu, mais precisamente nas margens da rodovia que liga Croatá a Santa Helena, foram identificadas três ocorrências de materiais areno argiloso, com pouco ou sem fragmentos rochosos.

Na ocorrência J-01, distante 17 km para o eixo da barragem, foram realizados 126 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,50 m, demarcando um volume estimado de 990.000 m³.

Na ocorrência J-02, distante cerca de 16 km para a barragem, foram realizados 166 furos de sondagem a pá e picareta, com profundidade típica de 1,40 m, demarcando um volume estimado de 1.480.000 m³.

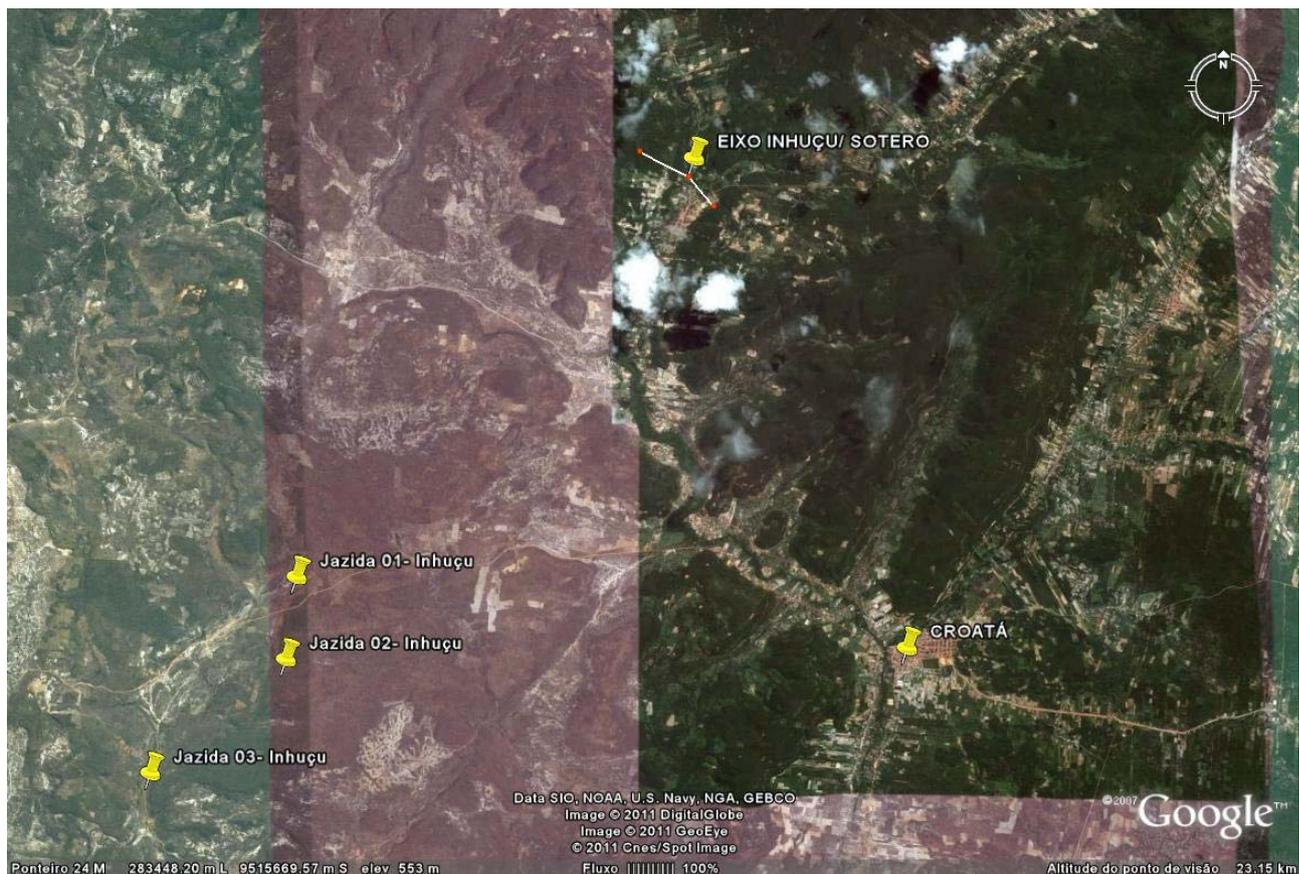
Na jazida J-03, próxima a localidade de Xique-Xique e distante 19,7 km para a barragem, foram localizados 180 locais para serem investigados, que estão em execução. O material constitui-se de um solo areno argiloso, com IP entre 11 e 12% e permeabilidade entre 10E-6 e 5x10E-7 cm/s.

Para fonte de material pétreo destinado aos enrocamentos encontra-se em estudo a identificação de horizontes bem consolidados de um afloramento arenítico que ocorre na ombreira direita, a montante do local de sangria.

Os bancos de areia que ocorrem no rio Macambira, a jusante do eixo Inhuçu, apresentam-se com uma granulometria fina a média, no entanto a avaliação do potencial volumétrico não estimulou seu uso, nem como fonte auxiliar de suprimento. Por este motivo foi-se estudar os bancos do riacho Juré, nas proximidades da cidade de Manaiara, e do rio Acarau a jusante da zona urbana de Macaraú. Ambos os areais apresentam volumes suficientes para suprir as necessidades da barragem Inhuçu, no entanto distam cerca de 80 km do local das obras. No riacho Juré foram realizados 24 poços com trado e retiradas amostras para ensaios, enquanto no rio Acaraú estas investigações estão em 16 furos.

Para suprir os volumes de areia previstos para a barragem Lontras, uma pequena parte pode ser extraída do rio Macambiras, na bacia hidráulica da própria barragem. Porém, como fonte principal de suprimento esta sendo investigado o rio Jatobá a jusante do perímetro urbano de Ipueiras. O transporte de areia do rio Jatobá para a barragem, utilizando-se a estrada que encontra-se em construção entre Croatá e Ipueiras, aproxima-se de 80 km.

A localização das jazidas em estudo, para aplicação no maciço da barragem Inhuçu, encontra-se apresentada na imagem seguinte.



Localização das jazidas em estudo para utilização no maciço da barragem Inhuçu

No **Anexo VII**, são apresentados os boletins de campo das investigações das jazidas.

5.2. ENSAIOS LABORATORIAIS

Para a investigação das jazidas Lontras 01, 02 e 03 procedeu-se a uma programação de extração de amostras que objetivam caracterizar os horizontes de solos encontrados nas jazidas, através de ensaios laboratoriais.

Na tabela abaixo resume-se as amostras coletadas nas jazidas estudadas para a barragem Lontras e cujos ensaios se encontram em realização.

AMOSTRAGEM PARA ENSAIOS GEOTÉCNICOS NAS JAZIDAS DA BARRAGEM LONTRAS				
SERVIÇO	JAZIDA LONTRAS 01	JAZIDA LONTRAS 02	JAZIDA LONTRAS 03	TOTAL DE AMOSTRAS
Amostra de solo areno- argiloso para ensaio de caracterização, compactação, permeabilidade, cisalhamento (*)	21	27	15	63
Amostra de solo areno- siltoso para ensaio de caracterização, compactação, permeabilidade, cisalhamento (*)	03	06	0	09
Amostra de solo areno- argiloso para ensaio de LL/LP	15	21	15	51
TOTAL GERAL DE AMOSTRAS				123

(*) os ensaios de granulometria com sedimentação, permeabilidade e de cisalhamento não serão realizados em todas as amostras coletadas, mas sim num numero menor, porém representativo do universo.

Para a barragem Inhuçu realizou-se um plano de coleta de amostras, visando a realização de ensaios, que é apresentado a seguir:

PLANO DE AMOSTRAGEM PARA ENSAIOS GEOTÉCNICOS NAS JAZIDAS DA BARRAGEM INHUÇU				
SERVIÇO	JAZIDA INHUÇU 01	JAZIDA INHUÇU 02	JAZIDA INHUÇU 03	TOTAL DE AMOSTRAS
Amostra de solo areno- argiloso para ensaio de caracterização, compactação, permeabilidade, cisalhamento (*)	21	24	27	63
TOTAL GERAL DE AMOSTRAS				72

(*) os ensaios de granulometria com sedimentação, permeabilidade e de cisalhamento não serão realizados em todas as amostras coletadas, mas sim num numero menor, porém representativo do universo.

Estão previstos os seguintes tipo de ensaios, para os diversos materiais naturais selecionados para a construção dos maciços das barragens:

a) Solos areno-argilosos

- Limites de Atterberg
- Umidade Natural
- Peso Especifico Natural
- Granulometria (com ou sem sedimentação)
- Compactação Proctor Normal.
- Permeabilidade

- Ensaio de Cisalhamento Direto Saturado Lento
- Ensaio de Adensamento

b) Areias

- Umidade Natural
- Peso Específico Natural
- Granulometria
- Peso Específico Máximo e Mínimo
- Permeabilidade

c) Materiais Pétreos

- Ensaio de Abrasão Los Angeles

Na tabela que se segue são apresentados o numero de ensaios programados e em andamento para ambas as barragens.

ENSAIOS	BARRAGEM LONTRAS					BARRAGEM INHUÇU				
	J-01	J-02	J-03	P-01	A-01	J-01	J-02	J-03	P-02	A-02
Granulometria peneiramento	24	33	21			21	24	27		
Granulometria sedimentação	8	8	8			8	8	8		
LL	24	33	21			21	24	27		
LP	24	33	21			21	24	27		
Peso específico in situ	15	15	15			15	15	15		
Umidade natural	15	15	15			15	15	15		
Compactação Proctor Normal	24	33	21			21	24	27		
Permeabilidade	6	6	5			5	5	5		
Cizalhamento direto	4	5	5			4	4	4		
Abrasão Los Angeles				8					8	
Granulometria da Areia					15					15
Permeabilidade da Areia					15					15
Peso específico Max/ Min					15					15

No **Anexo VII** são apresentados os resultados dos ensaios preliminares realizados em amostras das jazidas terrosas pesquisadas.

6. CONCLUSÕES

6. CONCLUSÕES

1 – Os estudos Cartográficos avançaram com a conclusão do apoio de campo e materialização do marcos de referencia. Iniciou-se o processo de restituição das imagens fotográficas para geração de ortofotos e plantas topográficas com curvas de nível a cada metro.

2 – Com a análise mais aprofundada da abrangência das obras a serem projetadas, chegou-se a conclusão que a área de restituição aerofotogramétrica fosse revista de modo a englobar todas as soluções, e ampliada além das expectativas iniciais.

3 – Para a barragem Lontras, os estudos hidrológicos simularam larguras do vertedouro entre 80 metros e 200 metros. A capacidade de amortecimento do Açude Lontras I se mostrou bem significativa, oscilando entre 43 a 68%. As lâminas observadas foram - 2 metros (cheia milenar) e 2,4 m (L=200m) a 3,3 m (L=80m), para a cheia decamilenar.

4- Simulou-se a barragem Inhuçu com três larguras de vertedouro – 150, 170 e 200m. Observou-se que independentemente da largura escolhida, o amortecimento das cheias milenar e decamilenar é muito pequeno – abaixo de 6,2%, resultando em vazões efluentes muito próximas entre si. As lâminas da cheia milenar ficam em torno de 2m e as da decamilenar entre 3,1 e 3,7 metros.

5- Para o futuro açude Inhuçu, concluiu-se que o eixo Inhuçu/Sotero é o mais apropriado pois, além de ser a única alternativa que preserva o distrito de Barra de Sotero, com aproximadamente 542 habitantes (censo 2010), preserva integralmente as zonas aluvionares agricultáveis que ocorre entre Barra do Sotero e a sede do município de Croatá (cerca de 980 há de terras irrigáveis). A alternativa de retificação do eixo para encurtar a extensão de maciço (eixo reto), além de não repercutir em economia volumétrica representativa, acarreta em escavações muito maiores no vertedouro (inclusive maiores que possíveis aproveitamentos no maciço) e no inconveniente de numa descarga do vertedouro na direção do pé do maciço da barragem. No eixo original (com deflexões) as condições topográficas permitem a implantação de uma estrutura de sangria, na ombreira direita, com uma escavação volumetricamente aproveitável no maciço da barragem e uma descarga longe do maciço.

6- Para o açude Lontras concluiu-se, com base em sondagens exploratórias, que o eixo denominado “Lontras” (estudado pelo DNOCS na década de cinquenta) apresenta condições geológicas adversas na ombreira esquerda, que demandariam soluções complexas e onerosas para assegurar a estabilidade e estanqueidade da fundação. Deslocou-se o eixo para montante de forma a loca-lo em zona geológica mais favorável. Este eixo, dito Lontras B, foi locado, estaqueado, nivelado, seccionado e, finalmente, gerada uma campanha de sondagens investigativas.

7- Para ambas as barragens a concepção de um maciço de concreto CCR, dotado de um vertedouro central, mostrou-se financeiramente inviável, face aos grandes transportes de agregado (100 km para a brita e 8 km para areia).

8- O estudo de alternativas de seção tipo do barramento Inhuçu, desprovido de informações sobre a geologia da região do sangradouro, preliminarmente apontou como mais vantajosa uma barragem zoneada, com núcleo central argiloso, zona de montante de enrocamento (aproveitamento das escavações obrigatórias do sangradouro) e zona de jusante construída com solo areno siltoso, não plástico. A grande distancia de transporte de solos argilosos indica a necessidade de utilização restrita deste material. A brita para transições finas e a areia para drenagem, também tem um preço elevado devido a transportes na ordem de 80 a 100 km.

9- O estudo de alternativas de seção tipo da barragem Lontras revelou que embora as jazidas de solo estejam próximas do eixo, a operação de separação por peneiramento dos blocos rochosos maiores que 0,15 m, introduz um custo adicional elevado ao uso dessas ocorrências. Portanto, existe um indicativo de uso restrito desse material ou no uso de limitadas zonas das ocorrências onde o percentual de blocos seja pouco significativo, possibilitando catação manual no local de aplicação. As informações a serem obtidas sobre a qualidade e quantidade de rochas aproveitáveis na escavação obrigatória do sangradouro, poderão referendar a adoção de uma seção tipo de enrocamento com núcleo central argiloso.

10- Dada a complexidade da execução, dúvidas quanto á geotecnia, morosidade construtivas e custos associadas ao túnel de adução, concluiu-se que deveria ser aprofundada uma alternativa que possibilite a utilização da água em locais mais próximos aos açudes de modo a reduzir o custo da adução, beneficiar prioritariamente a bacia doadora (região da Ibiapaba), melhorando os indicadores das avaliações econômicas e financeiras para o projeto.

11- Uma nova alternativa continua sendo avaliada pelo Consórcio ENGESOFT/IBI considerando a utilização de toda a água produzida, em decorrência dos açudes Inhuçu e Lontras, na região da Ibiapaba sem transposição para a bacia do Acaraú. Por este motivo, foram levantadas pedologicamente áreas margeando a bacia hidráulica do açude Lontras que poderão ser beneficiadas com irrigação. Os estudos indicaram que cerca de 4.000 há de solos são aptos para irrigação a uma distância de no máximo 3 km da bacia hidráulica do futuro reservatório Lontras.