



## **Folha de Dados**

**IDGED:**

0203/NOTECC 01

**LOTE:**

2221

**AUTOR:**

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICO – SRH; GOLDER ASSOCIATES; PIVOT

**TÍTULO:**

ESTUDOS DE ALTERNATIVA, VIABILIDADE E PROJETO BÁSICO DA ALTERNATIVA SELECIONADA DA BARRAGEM ARNEIROZ II

**SUBTÍTULO:**

ESTUDOS DE ALTERNATIVA; ESTUDOS HIDROLÓGICOS E DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS, VIABILIDADE E  
PROJETO BÁSICO DA ALTERNATIVA  
SELECIONADA DA BARRAGEM ARNEIROZ II**

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE BARRAMENTO**

**ESTUDOS HIDROLÓGICOS E DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO**

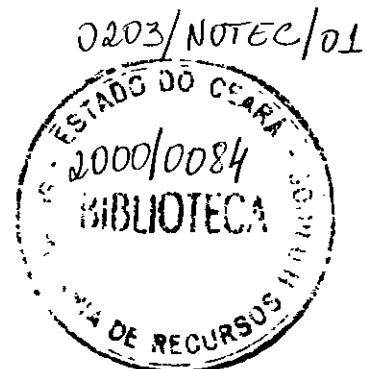
**NOTA TÉCNICA**

*Elaborado para.*

*SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – SRH – CE  
Fortaleza – CE  
Brasil*

*Elaborado por*

*Consórcio GOLDER-PIVOT  
Rua Leonardo Mota, 699  
Fortaleza – CE  
Brasil*



**Distribuição**

01 Cópia - Secretaria dos Recursos Hídricos – SRH – CE  
01 Cópia - Consórcio GOLDER-PIVOT

Junho, 2000

Lote 02221 - Prep () Scan () Index ()  
Projeto Nº 0203/NOTE/01  
Volume 1

009-5601-OS1-006

---

**SUMÁRIO**

1	INTRODUÇÃO	01
2	DADOS BÁSICOS	01
3	VOLUME ÚTIL DE REGULARIZAÇÃO	04
4	CHEIAS DE PROJETO	04
5	TRÂNSITO DE CHEIAS NO RESERVATÓRIO	08
6	CÁLCULO DA BORDA LIVRE	08
7	REMANSO NO RESERVATÓRIO	08
8	CÁLCULO DE PERFIS DE ESCOAMENTO	13
9	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO	13
10	SÍNTESE DOS DIMENSIONAMENTOS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO	14

## 1. INTRODUÇÃO

O presente documento tem a finalidade de sintetizar os principais resultados dos estudos hidrológicos e dimensionamentos hidráulicos, elaborados para a avaliação de alternativas e análise de viabilidade da Barragem Arneiróz II

Os resultados contêm os elementos necessários à determinação das dimensões básicas da barragem e estruturas conexas, tais como

- Níveis de água operativos notáveis do reservatório (NA mínimo, NA máximo normal, NA máximo maximorum)
- Cálculo da borda livre e cota de coroamento do maciço da barragem
- Características da soleira do vertedouro
- Traçado da curva de remanso do reservatório
- Arranjo da estrutura da tomada d'água
- Perfis de escoamento no canal de restituição do vertedouro

## 2. DADOS BÁSICOS

A localização do empreendimento na bacia do rio Jaguaribe pode ser vista na Figura 2 1, onde aparece também a posição relativa de outras obras de importância para o Estado do Ceará, tais como as Barragens de Orós e Castanhão e o Canal do Trabalhador

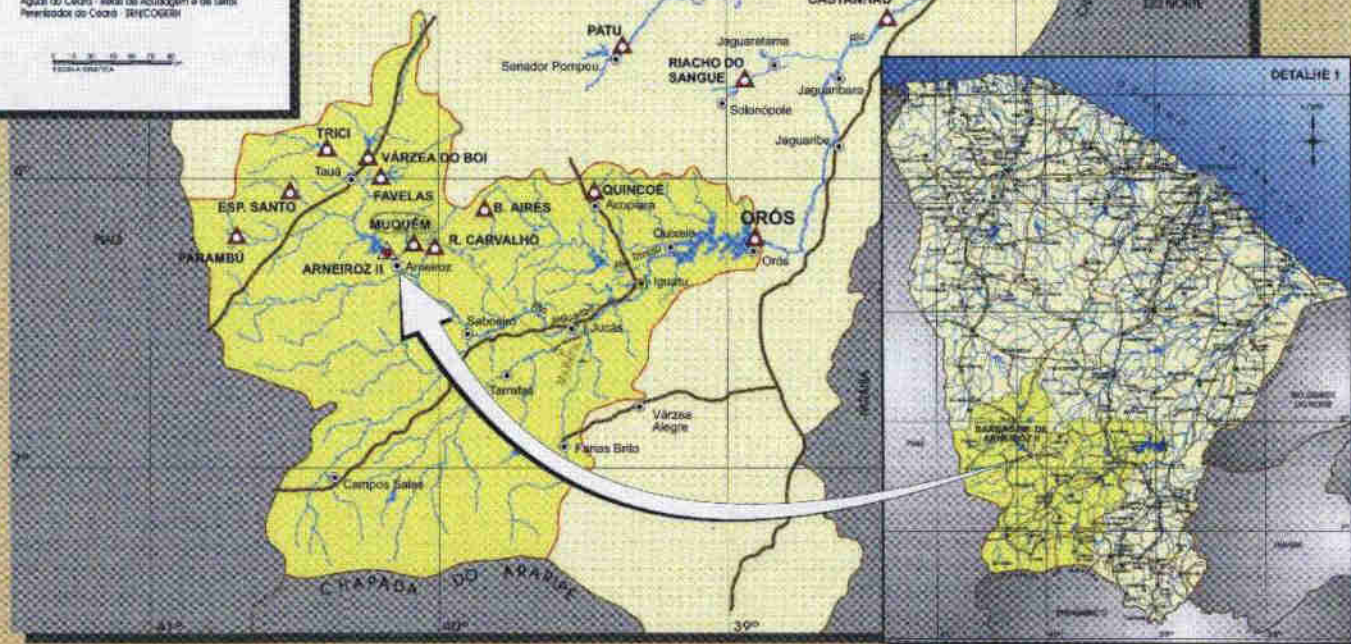
A Figura 2 2 mostra a bacia do rio Jaguaribe, a montante do eixo de barramento Arneiróz II, indicando a posição relativa de cidades (Arneiróz e Tauá), distritos (Marrecas) e rodovias (BR-020), que representam pontos de interesse para o presente trabalho. No local selecionado para o eixo do barramento, o rio Jaguaribe drena uma área de **5791 km<sup>2</sup>**. O talvegue principal do rio tem um comprimento de 116 km, com declividade média equivalente de 0,158%. O tempo de concentração da bacia foi estimado em **30 horas**

Como informação subsidiária para a elaboração dos estudos hidrológicos, foi obtido o nivelamento das marcas da cheia de 1974 na Bacia do Alto Jaguaribe, conforme constam no Relatório "Primeiras Observações sobre os Boqueirões Opcionais nas Proximidades de Arneiróz" (AGUASOLOS – Consultoria de Engenharia Ltda, 1989)

**LEGENDA:**

- MUNICÍPIO DE 0 a 20.000 HABITANTES
- MUNICÍPIO DE 20.001 a 50.000 HABITANTES
- MUNICÍPIO DE 50.001 a 200.000 HABITANTES
- RODOVIA FEDERAL
- RODOVIA ESTADUAL (ASFALTADA)
- - - RODOVIA ESTADUAL (SEM ASFALTO)
- ESTRADA DE FERRO
- CURSOS DE ÁGUA
- LIMITE DA BACIA DO ALTO JAGUARIBE

BASE: Atlas do Ceará - 1997 - IBRANCE  
 Fundação Instituto de Planejamento do Ceará  
 Agenci do Ceará - Rede de Acustagem e de Lazer  
 Pesquisador do Ceará - IRHYCOGERM



**BARRAGEM ARNEIROZ II**  
 Mapa de Localização Geral do  
 Empreendimento na Bacia do Rio Jaguaribe  
 FIGURA 2.1





**LEGENDA:**

- LIMITE DA BACIA HIDROGRÁFICA
- ESTRADAS
- ÁREA URBANA
- ~ CURSOS DE ÁGUA
- SEDE MUNICIPAL
- DISTRITO
- LUGAREJO / LOCAL
- BACIA DO RIO JAGUARIBE

BASE: Atlas do Ceará - 1997 - IPLANCE  
 Fundação Instituto de Planejamento do Ceará  
 Águas do Ceará - Rede de Acudagem e de Leitões  
 Perenizados do Ceará - SRH/COGERH



**BARRAGEM ARNEIROZ II**  
 Bacia Hidrográfica de Contribuição  
 até o Barramento  
 FIGURA 2.2



### 3. VOLUME ÚTIL DE REGULARIZAÇÃO

Em conformidade com os resultados dos estudos de regularização de vazões, condensados no Relatório Parcial de Hidrologia (Volume 1 do Tomo II – Relatório dos Estudos Básicos, maio de 2000), o nível ótimo de acumulação no reservatório da Barragem Arneiróz II equivale a um volume total de **197.060.000 m<sup>3</sup>**. Para esse nível de acumulação máxima, o NA máximo normal do reservatório deve estar posicionado na **El. 368,00 m**.

A acumulação mínima no reservatório, correspondente ao volume morto ou inerte, foi fixada em 5% do volume total (volume morto de 9 853 000 m<sup>3</sup>). Ainda sem considerar a distribuição do assoreamento no interior do reservatório, em uma hipótese conservadora para a definição da cota de implantação da tomada d'água, o NA mínimo operativo foi posicionado na **El. 350,70 m** (cota correspondente à acumulação de 9 853 000 m<sup>3</sup> na curva cota-volume do reservatório).

Na etapa posterior do Projeto Básico, será empregado o método de redução empírica de área (recomendado pelo US Bureau of Reclamation), para avaliar a possibilidade de implantar a tomada d'água em cotas mais baixas, garantindo assim uma maior flexibilidade operativa aos volumes armazenados.

### 4. CHEIAS DE PROJETO

As cheias de projeto para o dimensionamento do vertedouro e cálculo da curva de remanso do reservatório foram calculadas a partir de modelação matemática, empregando metodologias de transformação chuva-vazão.

O estudo de chuvas intensas foi elaborado a partir do conceito metodológico estação-ano, seleccionando as estações pluviométricas localizadas na bacia hidrográfica de contribuição, com períodos de registros mais longos. Foram analisadas as amostras de máximos anuais de alturas de chuvas, com durações de 1 dia e 2 dias. Aos pontos amostrais, foram ajustadas as distribuições de probabilidade de Gumbel, Log-Normal 2 Parâmetros e Log-Pearson Tipo III.

A Figura 4.1 mostra o ajuste feito para a amostra correspondente à duração de 2 dias, seleccionada como duração crítica da bacia, em razão de o tempo de concentração ter sido estimado em 30 horas. Dentre os ajustes efetuados, optou-se pela escolha da distribuição de Gumbel, que apresentou a melhor aderência aos pontos amostrais. Os quantis de interesse estão relacionados aos períodos de retorno de **100 anos (P=190 mm)** e **10.000 anos (P=316 mm)**, respectivamente para o cálculo das vazões de cheias de verificação da curva de remanso e de dimensionamento do vertedouro.

Os quantis de chuvas intensas, para a duração de 2 dias, foram assumidos como sendo a altura máxima do núcleo do evento de precipitação. Para levar em conta a distribuição espacial sobre a área da bacia hidrográfica de contribuição, foi adotada uma distribuição isoietal padrão, recomendada pelo US National Weather Service.

Para a transformação do evento de chuva em hidrograma de cheia, foi adotado o modelo HEC-HMS, distribuído pelo US Army Corps of Engineers. A bacia hidrográfica de contribuição foi dividida em 4 sub-bacias, compatíveis com a rede potamográfica e com a distribuição de açudes, já implantados. Dentre os algoritmos disponíveis no referido modelo, a chuva efetiva foi calculada pelo método do SCS – Soil Conservation Service, aplicada sobre o hidrograma unitário triangular, sintetizado para cada sub-bacia.

Os parâmetros do modelo foram calibrados para o evento da cheia de 1974. Com base na rede de estações pluviométricas selecionadas, foi feita a análise isoietal do período mais crítico da precipitação, calculando-se os valores médios precipitados em cada sub-bacia. Para estimar a vazão de pico da cheia, foram consideradas as marcas que estavam niveladas nas seções fluviais de estudo das Barragens Arneiróz I e Arneiróz II, reproduzindo-se o perfil de escoamento, com aplicação do modelo HEC-RAS. A vazão de pico estimada foi de  $1157 \text{ m}^3/\text{s}$ , que foi reproduzida pelo modelo chuva-vazão, para o parâmetro da curva índice  $CN=60$ , do método do SCS.

Aplicando-se a chuva de período de retorno de **10.000 anos** no modelo assim calibrado, foi definido um hidrograma de cheia com vazão de pico de  $4790 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Para situar o valor da vazão de pico do hidrograma da cheia de projeto, a Figura 4.2 mostra relações entre descargas específicas máximas e respectivas áreas de drenagem, aparecendo os valores calculados para o evento de 1974 e a cheia decamilenar, comparados com envoltórias típicas da fórmula de Creager e com os valores médios encontrados na bacia do rio Tennessee (EUA).



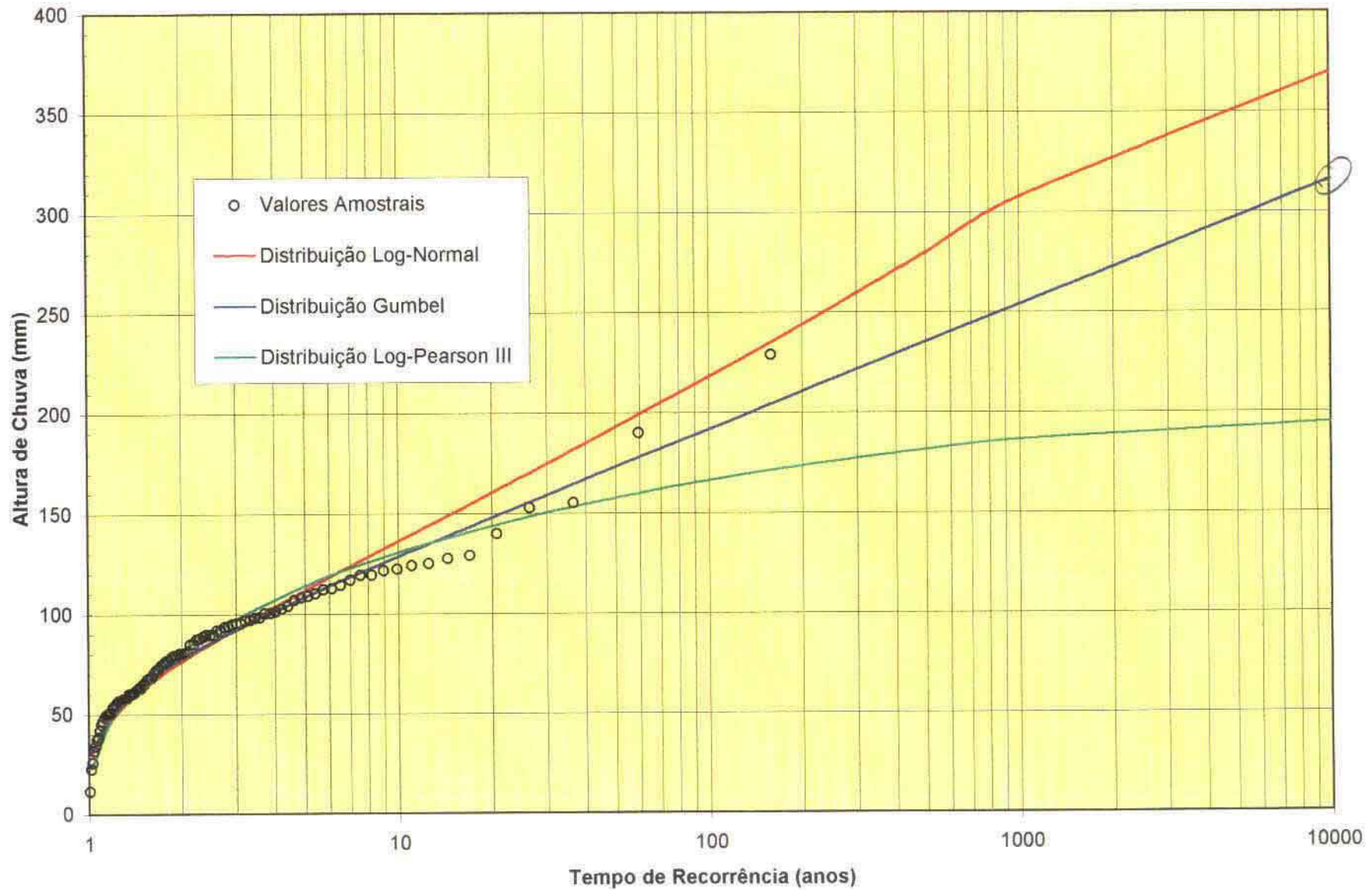


Figura 4.1 - Análise de Frequência de Chuva - Estação Ano - Arneiroz II - Chuva de 2 dias

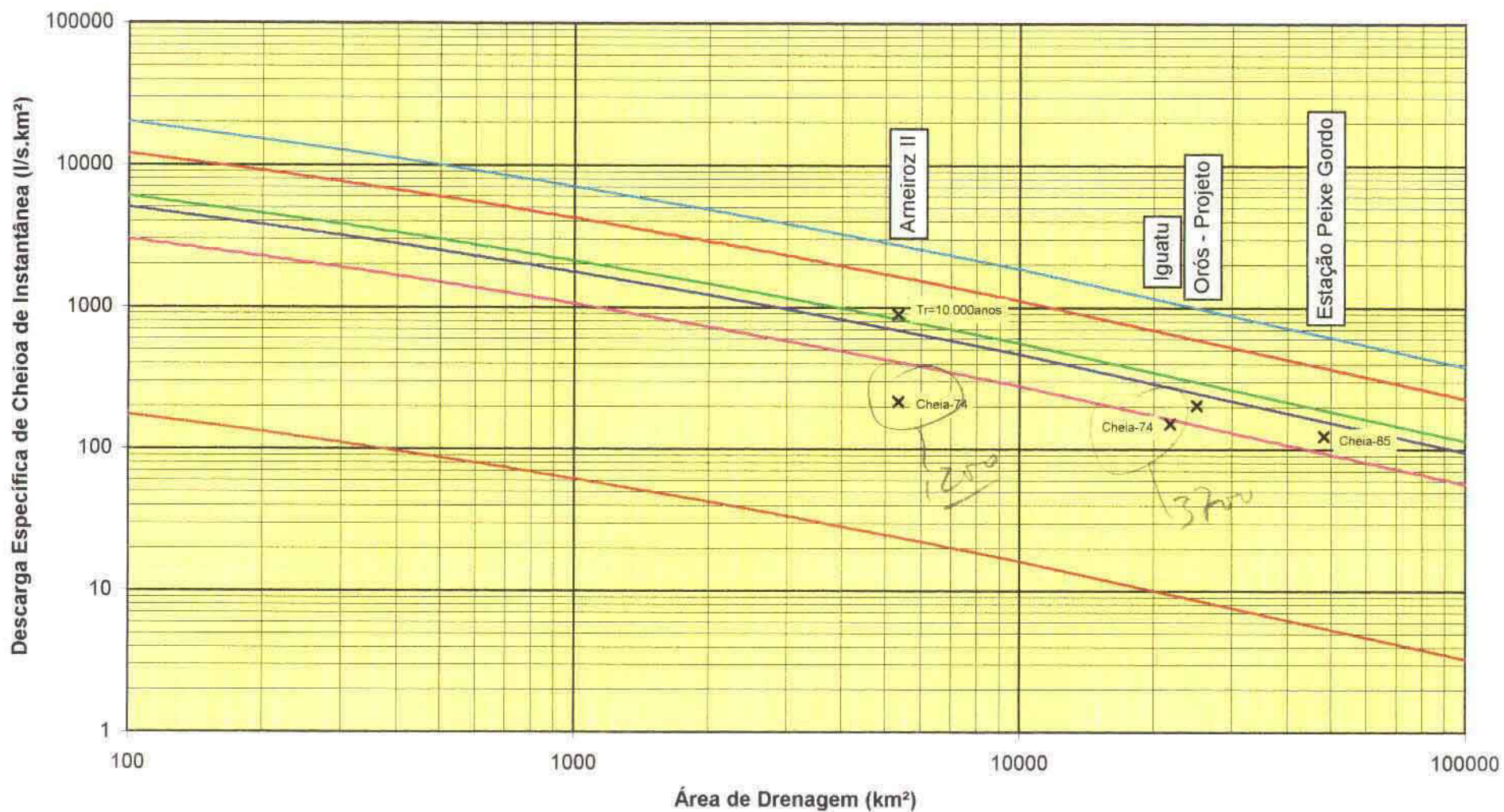
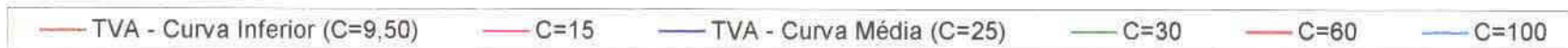


Figura 4.2 - Relações entre Descarga Específica de Cheia Instantânea e Área de Drenagem Envoltórias Creager



## 5. TRÂNSITO DE CHEIAS NO RESERVATÓRIO

A operação de trânsito de cheias pelo reservatório foi simulada através do modelo HEC-HMS, empregando o método de Puls Modificado. Partindo da soleira do vertedouro na **El. 368,00 m** (NA máximo normal), foram analisados extravasores de diversas larguras, variando entre 300 m e 400 m, combinadas com perfis tipo soleira espessa e tipo Creager.

Os resultados obtidos ressaltaram o baixo potencial de amortecimento de cheias do reservatório, que reduz o pico da cheia afluente de  $4790 \text{ m}^3/\text{s}$  para valores variáveis de  $3630 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $4160 \text{ m}^3/\text{s}$ , dependendo da largura e do tipo de perfil da soleira vertente. A sobrelevação máxima do nível de água do reservatório (NA máximo maximum) oscilou entre **3,60 m** e **2,80 m**.

As Figuras 5.1 e 5.2 mostram o resultado da operação simulada do trânsito de cheias pelo reservatório, respectivamente para as condições de vertedouro com soleira em perfil Creager (largura de 400 m) e com soleira espessa (largura de 300 m).

## 6. CÁLCULO DA BORDA LIVRE

O cálculo da borda livre a ser adotada acima do NA máximo maximum foi feito com aplicação da metodologia de Saville, considerando um vento de projeto com velocidade de **80 km/h**, atuando na direção mais desfavorável da superfície do reservatório.

Os valores obtidos foram de **1,19 m** e **2,01 m**, respectivamente para as alternativas analisadas de barragens de concreto e de terra/enrocamento.

## 7. REMANSO NO RESERVATÓRIO

O estudo de remanso foi elaborado com a finalidade de avaliar a posição relativa das áreas inundadas, quando da ocorrência da cheia com período de retorno de 100 anos, que apresentou vazão de pico de  $1800 \text{ m}^3/\text{s}$ . Como pontos de referência, foi confrontado o alcance do remanso, em relação ao distrito de Marrecas e com a ponte da BR-020, mostrados na Figura 2.2.

A Figura 7.1 apresenta a planta detalhada do reservatório e a localização das seções batimétricas, utilizadas no cálculo da curva de remanso. Os cálculos foram feitos para a hipótese de escoamento em regime permanente e variado, tendo como condição de contorno, a jusante, a sobrelevação máxima atingida pelo nível de água do reservatório.

Foram consideradas 17 seções batimétricas, configurando a geometria da bacia hidráulica do reservatório, conforme a formatação do modelo HEC-RAS, empregado nos cálculos. A Figura 7.2 mostra a curva de remanso calculada, conforme saída gráfica do modelo HEC-RAS.

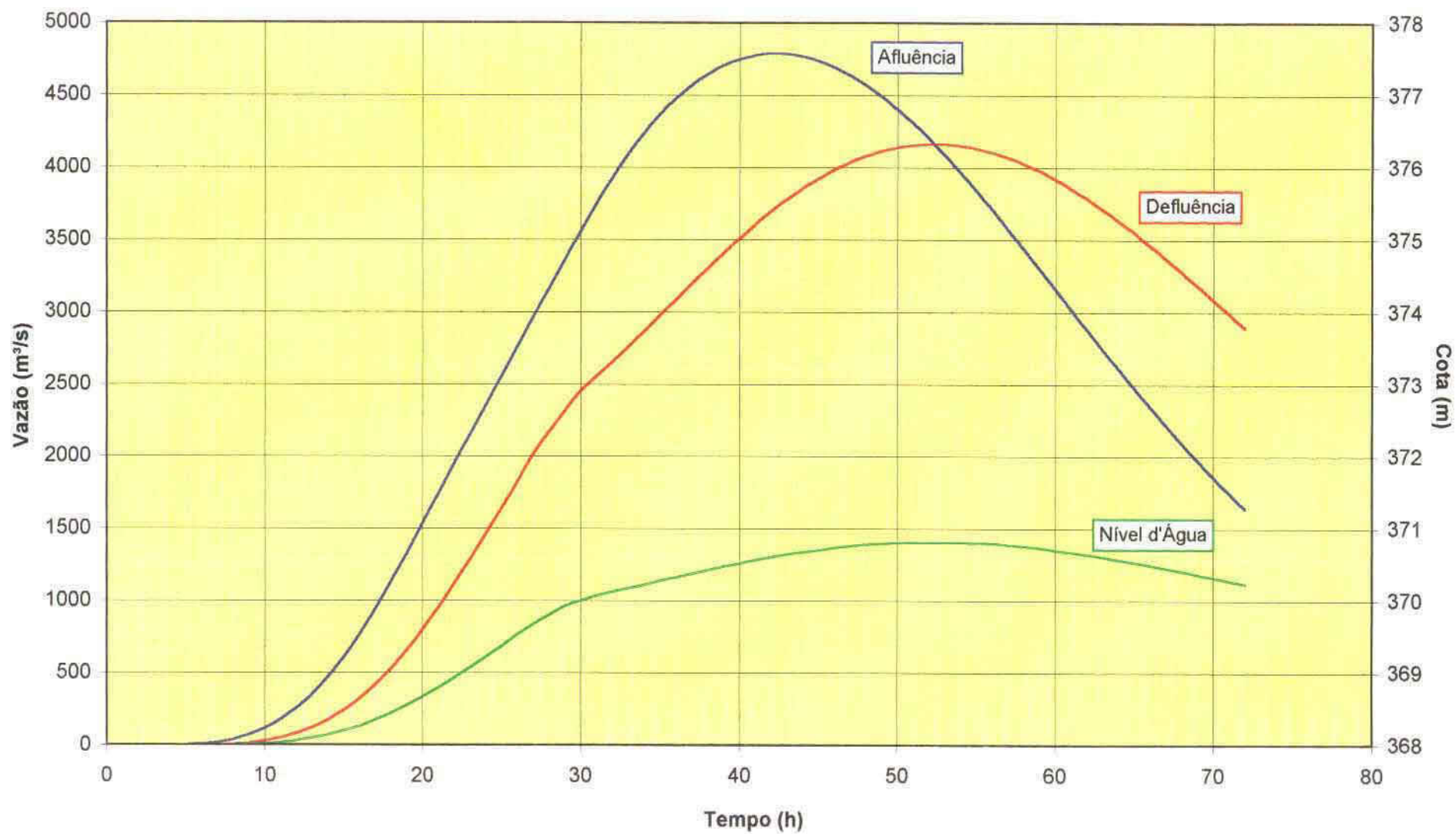


Figura 5.1 - Transito de Cheias no Reservatório de Arneiroz II  
Vertedouro Tipo Creager (L = 400 m)

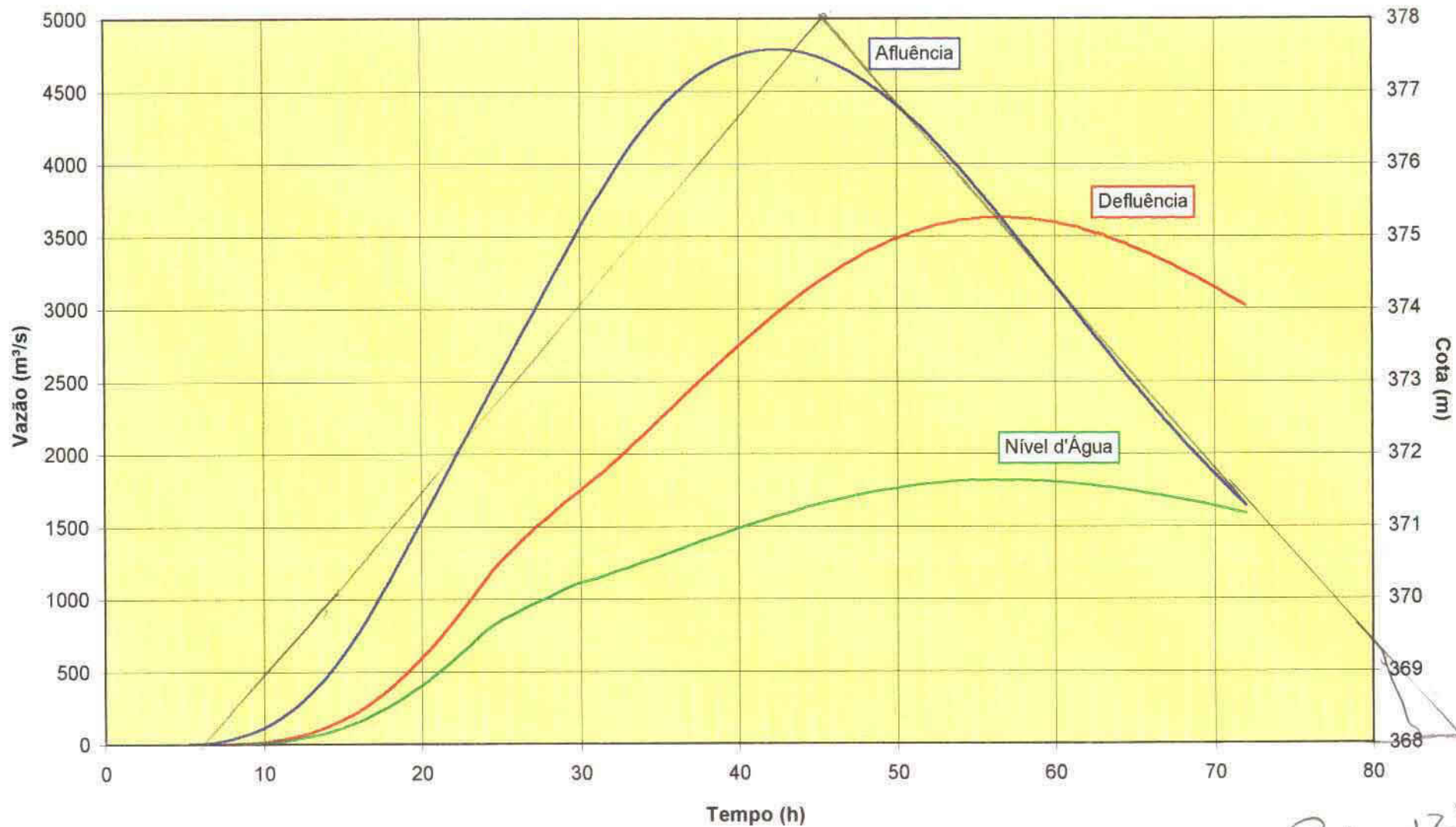
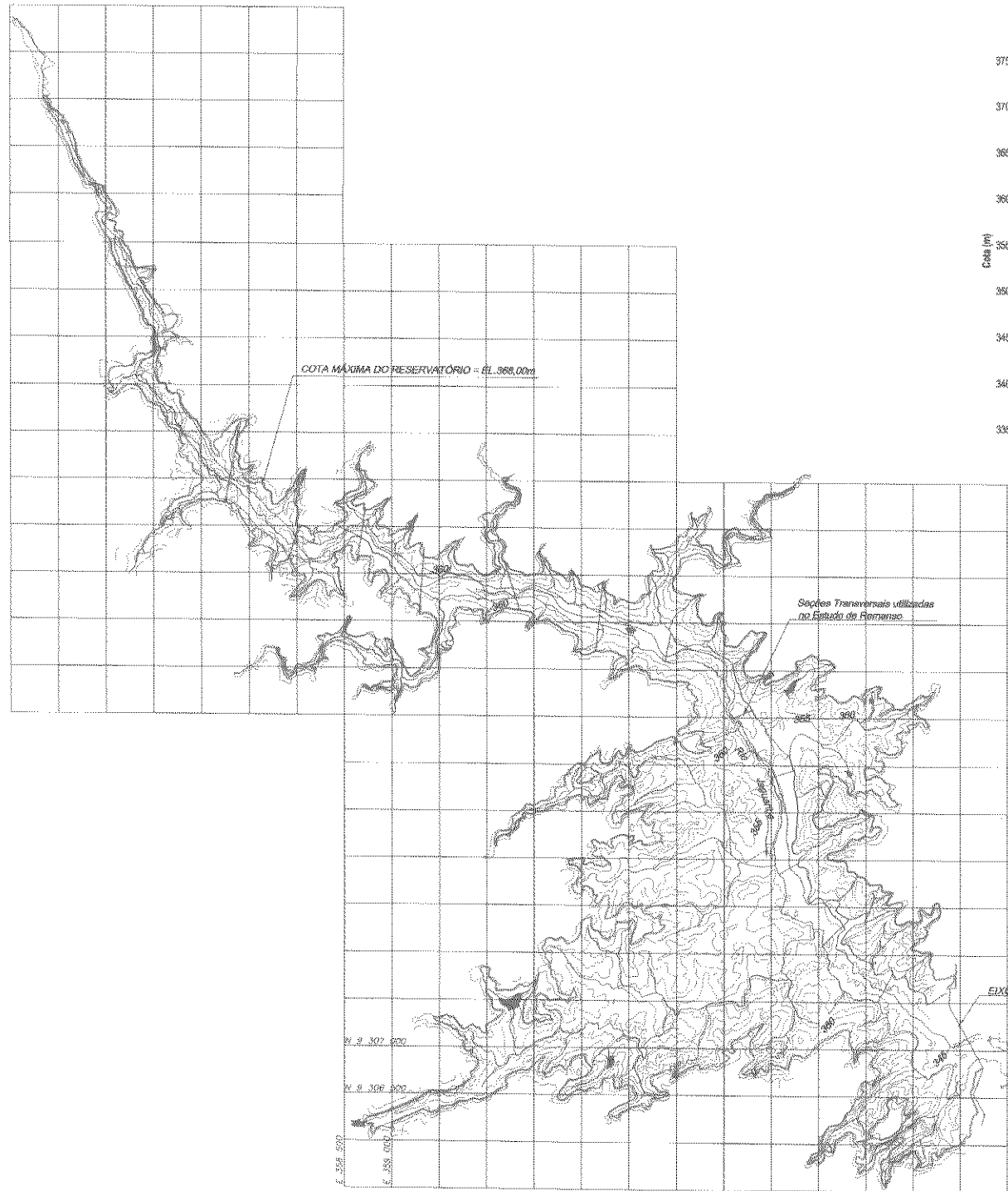
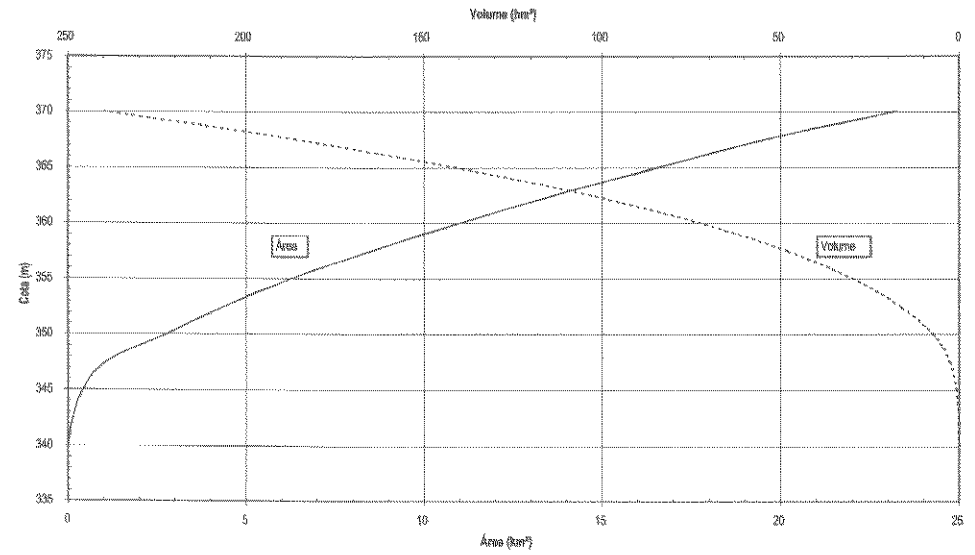


Figura 5.2 - Transito de Cheias no Reservatório de Arneiroz II  
Vertedouro Soleira Espessa (L = 300 m)

Ref - 125 mm.

000013

Curva Cota-Área-Volume (Arneiroz II - Eixo II)

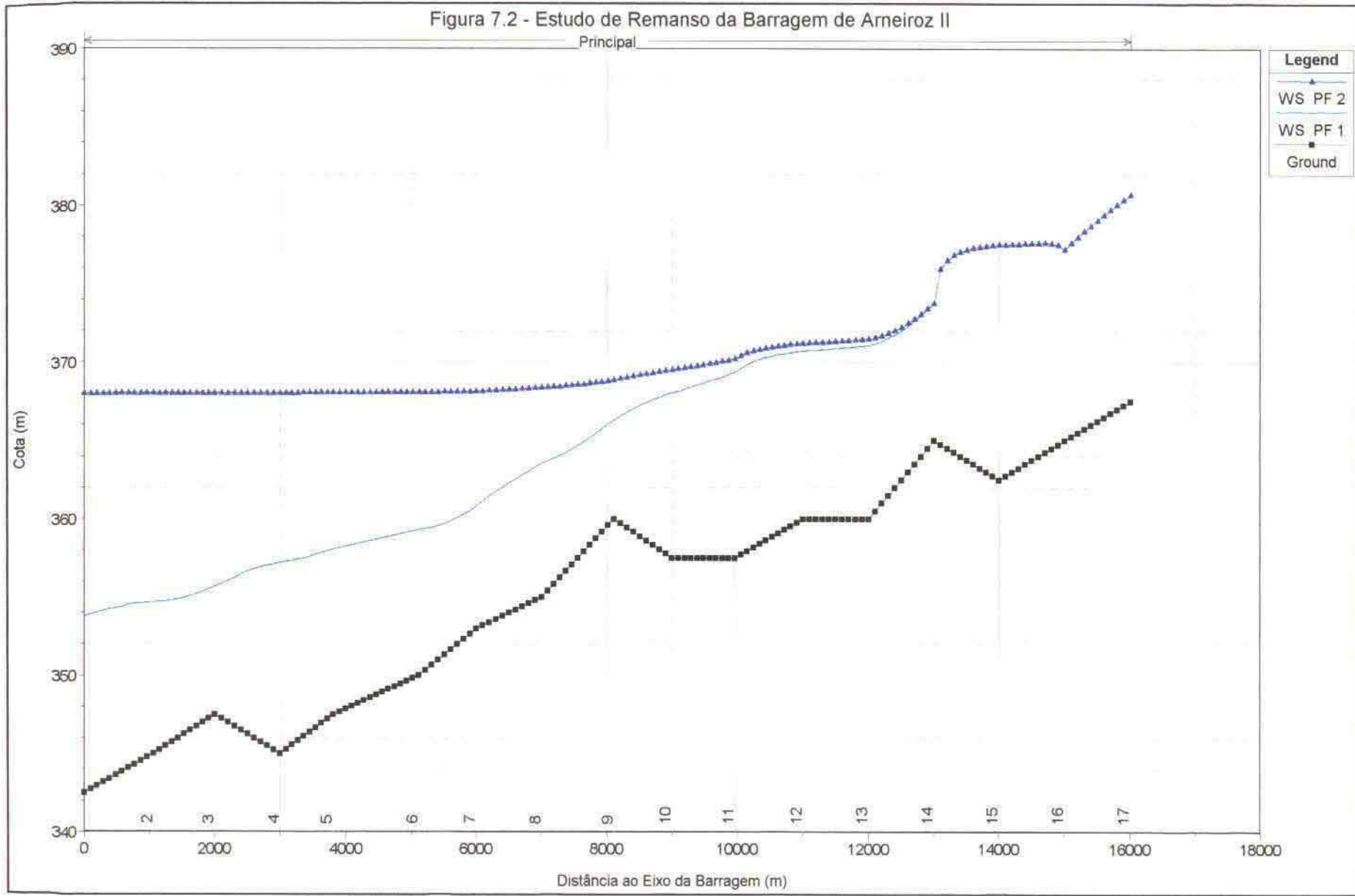


000014

REVISÕES				GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ			
Nº	NATUREZA DA REVISÃO	DATA	APROV.	SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH			
				SUBPROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DE RECURSOS HÍDRICOS PARA O SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO - PROAGUA			
				BARRAGEM ARNEIROZ II			
				PROJ.	TÍTULO:	RESERVATÓRIO DE ARNEIROZ	REVISÃO
				DESE.	EL. DO N.A. MÁX. NORMAL = 368,00m		01
				DETA.	PLANTA		junho/2000
				APROV.	CONVÊNIO:	PIVOT	ESCALA: NÃO DADA
							RES. Nº

FIGURA 7.1

Figura 7.2 - Estudo de Remanso da Barragem de Arneiroz II



## 8. CÁLCULO DE PERFIS DE ESCOAMENTO

O cálculo de perfis de escoamento, considerando a hipótese de regime permanente e variado, foi aplicado na definição de relações cota-descarga, em seções e trechos fluviais de interesse para o projeto, a saber

- Determinação da curva-chave no canal de restituição do vertedouro, visando o dimensionamento da bacia de dissipação e a determinação do nível de água máximo, para proteção do paramento de jusante da barragem e cálculo de estabilidade. Foram traçadas 5 seções transversais no trecho fluvial de implantação da barragem, abrangido pelos levantamentos topográficos, tendo como condição de contorno, a jusante, a profundidade normal do escoamento. Para as alternativas de barragem de terra/enrocamento, os canais de descarga dos vertedouros, constituídos por talvegues, afluentes da margem direita, foram agregados ao modelo de simulação (HEC-RAS) como confluências.
- Cálculo das perdas de carga nos canais de aproximação dos vertedouros, para as alternativas de barragens de terra/enrocamento, partindo da profundidade crítica no topo da soleira vertente e computando o nível de água atingido pelo reservatório.
- Cálculo de profundidades nos canais de restituição dos vertedouros das alternativas de barragens de terra/enrocamento, visando o dimensionamento dos muros de proteção.

## 9. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

### PERFIL DA SOLEIRA VERTENTE

Os vertedouros das alternativas de barragens de terra/enrocamento foram concebidos com soleira espessa ou perfil tipo Creager. Para esse segundo tipo, foram adotados os critérios de dimensionamento do US Bureau of Reclamation, considerando uma carga de projeto igual a 75% da carga máxima prevista.

Para a alternativa de barragem de concreto, foi considerado apenas o perfil tipo Creager.

### TOMADA D'ÁGUA

A tomada d'água foi concebida para operar em toda a amplitude de variação de nível do reservatório, na faixa compreendida entre o NA máximo normal e o NA mínimo. Em todas as alternativas de barramento, a estrutura da tomada d'água está constituída por uma torre, conectada a uma tubulação de aço. Na extremidade de montante, a entrada deverá ser protegida com uma grade fixa, seguida de uma ranhura para introdução de uma comporta ensecadeira ("stop-log"). A jusante, a tomada d'água está equipada com uma válvula dispersora e protegida com uma comporta tipo gaveta, para possibilitar eventuais manutenções.



No cálculo hidráulico, foram computadas todas as perdas de carga localizadas (grade, transições de seção, comporta ensecadeira, comporta gaveta e válvula dispersora) e ao longo da tubulação. A vazão máxima admissível, para abertura total da válvula, varia de 8,00 m<sup>3</sup>/s a 11,0 m<sup>3</sup>/s, segundo a alternativa de barramento considerada.

## 10. SÍNTESE DOS DIMENSIONAMENTOS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

O quadro abaixo resume as grandezas básicas calculadas para as alternativas de barramentos, decorrentes dos dimensionamentos hidrológico e hidráulico.

<b>ALTERNATIVA BARRAMENTO</b>	<b>CONCRETO</b>	<b>TERRA</b>	<b>TERRA</b>	<b>TERRA</b>	<b>TERRA</b>
Soleira Vertedouro	CREAGER	CREAGER	ESPESSA	CREAGER	ESPESSA
Largura Vertedouro	300 m	300 m	300 m	400 m	400 m
NA máximo normal	El 368,00 m	El 368,00 m	El 368,00 m	El 368,00 m	El 368,00 m
NA mínimo	El 350,70 m	El 350,70 m	El 350,70 m	El 350,70 m	El 350,70 m
NA máximo maximum	El 371,28 m	El 371,28 m	El 371,64 m	El 370,82 m	El 371,15 m
Borda livre	1,19 m	2,01 m	2,01 m	2,01 m	2,01 m
Cota Coroamento	El 372,47 m	El 373,29 m	El 373,65 m	El 372,83 m	El 373,16 m