



## **Folha de Dados**

**IDGED:**

0012/02/03/A

**LOTE:**

0109

**AUTOR:**

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – ENGESOFT

**TÍTULO:**

PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM GANGORRA EM GRANJA

**SUBTÍTULO:**

PROJETO EXECUTIVO VOLUME II ESTUDOS BÁSICOS TOMO III ESTUDOS HIDROLÓGICOS

**SETEMBRO/1996**

FOLHA DE DADOS - GED/SRH

TIPO DE DOCUMENTO: PROJETO

Identidade GED: 0012/02/03/A

Lote: 00109

Nº de Registro: 9613438

Autores: ENGESOFT/SRH/SOHIDRA/EDGERH/PROURB-CE

Programa: PROURB

Título: Projeto executivo da barragem Gargema

Sub-Título 1: Relatório dos estudos básicos

Sub-Título 2: Estudos hidrológicos

Nº de Páginas: 74 p

Volume: 2

Tomo: 3

Editor: ENGESOFT

Data de Publicação (mês/ano): Julho/1996

Local de Publicação: Fortaleza

Localização da Obra

Tipo de Empreendimento:

<input checked="" type="checkbox"/> Barragem	<input type="checkbox"/> Açude	<input type="checkbox"/> Adutora	<input type="checkbox"/> Canal / Eixo de Transp.	<input type="checkbox"/> Outro
Rio / Riacho Barrado: <u>Riacho Gargema</u>		Fonte Hídrica: _____		

Bacia: Ceará

Sub-bacia: \_\_\_\_\_

Municípios: Guarna

Distrito: \_\_\_\_\_

Microregião: litoral de Bomfim e Ceará

Estado: Ceará

GOVERNO DO ESTADO



**CEARÁ**  
AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS**  
**COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGERH**  
**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**  
**PROURB/CE**

**PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM GANGORRA**

**VOLUME II - RELATÓRIO DOS ESTUDOS BÁSICOS**

**TOMO 3 - ESTUDOS HIDROLÓGICOS**



Lote. 00109 - Prep.  Scan  Index   
Projeto Nº 0012/02/03A  
Volume 1  
Qtd. A4 77 Qtd. A3  
Qtd. A2 Qtd. A1  
Qtd. A0 Outros

GOVERNO DO ESTADO



**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS**  
**COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS - COGERH**  
**PROJETO DE DESENVOLVIMENTO URBANO E GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS**  
**PROURB/CE**

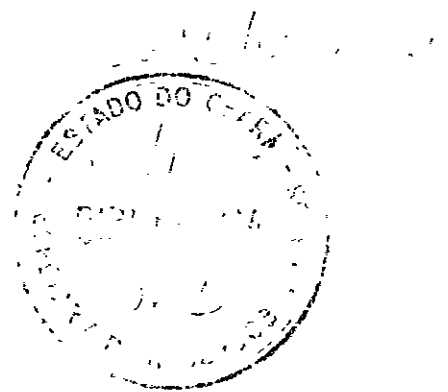
**PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM GANGORRA**

**LEVANTAMENTO CADASTRAL**  
**RELATÓRIO GERAL**  
**PASTA CADASTRAL**



**000003**

FORTALEZA  
OUTUBRO/96



**ÍNDICE**

---

## ÍNDICE

	Página
<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>4</b>
<b>FICHA HIDROLÓGICA.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA.....</b>	<b>11</b>
2 1 - Principais Parâmetros . . . . .	12
2 1 1 - Temperatura . . . . .	12
2.1 2 - Umidade Relativa . . . . .	14
2 1 3 - Insolação Média . . . . .	15
2 1 4 - Nebulosidade . . . . .	16
2 1 5 - Precipitação Total . . . . .	17
2 1 6 - Evaporação total média . . . . .	19
2 2 - Balanço Hídrico .. . . .	20
2.3 - Classificação do Clima . . . . .	22
2 3 1 - Classificação segundo Thornthwaite <sup>1</sup> . . . . .	22
2 4 - SINOPSE CLIMATOLÓGICA . . . . .	23
<b>CAPÍTULO 3 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS.....</b>	<b>24</b>
3 1 - Dados Utilizados . . . . .	25
3 2 - Caracterização do Regime Pluviométrico .. . . .	26
3 2.1 - Nível Mensal. . . . .	26
3 2 2 - Nível Diário . . . . .	28

3 3- Estudos de Chuvas Intensas	29
3 3 1- Método das Isozonas (TORRICO,1975)	29
<b>CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE DEFLUVIOS</b>	<b>33</b>
4 2 - Dados Necessários	36
<b>5 - ESTUDO DAS CHEIAS DE PROJETO</b>	<b>41</b>
5 1 - Metodologia	42
5 1 1 - Precipitação	43
5 1 2 - Precipitação Efetiva	45
5 1 3 - Hidrograma Unitário - SCS	48
5 2 - Resultados	49
<b>6 - DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO</b>	<b>51</b>
6 1 - Introdução	52
6.2 - Metodologia	52
6 2 1 - Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico	52
6.2 2 - O Diagrama Triangular de Regularização	55
6 3 - Resultados	56
<b>7 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO</b>	<b>61</b>
7 1 - Propagação da Cheia no Reservatório.	62
7 2 - Resultados	64
<b>8 - ESTUDOS ADICIONAIS</b>	<b>68</b>
8 1 - Introdução	69
8 2 - Estudo da Disponibilidade Hídrica	69

## APRESENTAÇÃO

---



## APRESENTAÇÃO

A ENGESOFT Engenharia e Consultoria Ltda apresenta, a seguir, o Projeto Executivo da Barragem Gangorra, objeto do Contrato N° 05/96 - PROURB/COGERH, firmado com a COGERH

O referido projeto está apresentado nos seguintes volumes

VOLUME I - Relatório Síntese

VOLUME II - Relatório dos Estudos Básicos

Tomo 1 - Estudos Topográficos

Tomo 2 - Estudos Geotécnicos

Tomo 3 - Estudos Hidrológicos

VOLUME III - Relatório de Concepção

VOLUME IV - Relatório Geral

Tomo 1 - Descrição Geral do Projeto

Tomo 2 - Memorial de Cálculo

Tomo 3 - Quantitativos e Especificações Técnicas

Tomo 4 - Desenhos

Tomo 5 - Orçamento

O presente relatório refere-se ao Volume II - Relatório dos Estudos Básicos - Tomo 3 - Estudos Hidrológicos, cujos capítulos são divididos em

Capítulo 1 - Introdução

Capítulo 2 - Caracterização Climatológica

Capítulo 3 - Estudos Pluviométricos

Capítulo 4 - Estudos de Deflúvios

Capítulo 5 - Estudos da Cheia de Projeto

Capítulo 6 - Dimensionamento do Reservatório

Capítulo 7 - Dimensionamento do Sangradouro

Capítulo 8 - Estudos Complementares

## FICHA HIDROLÓGICA

### Açude Gangorra

Município ..	. Granja
Rio ou Riacho Barrado	Gangorra
Área da Bacia Hidrográfica	105 km <sup>2</sup>
Comprimento do Talvegue Principal . . . . .	. . . 18 km
Desnível do Talvegue Principal	.. 50 m
Precipitação Média Anual	1 052,5 mm
Escoamento Médio Anual	243,8 mm
Evaporação Média Anual.	1 634 mm
Cota de Sangria .	. 38 m
Volume Máximo Acumulável	46.1x10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>
Cota de Coroamento . . . . .	. . . 41 m
Vazão Máxima de Cheia - TR = 1 000 anos .....	526,5 m <sup>3</sup> /s
Vazão Mínima de Cheia - TR = 10 000 anos . . . . .	651,2 m <sup>3</sup> /s
Vazão Máxima Laminada - TR = 1 000 anos	76,6 m <sup>3</sup> /s
Vazão Máxima Laminada - TR = 10 000 anos . . . . .	102,86 m <sup>3</sup> /s
Lâmina Máxima de Sangria - RT = 10,000 anos	1,20 m
Lâmina Máxima de Sangria - RT = 10,000 anos	1,47 m

1

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

---

## 1 - INTRODUÇÃO

Os Estudos Hidrológicos do Acude Gangorra objetivaram fornecer os elementos hidrológicos para o dimensionamento do reservatório e das estruturas hidráulicas de descarga de obra

Os estudos iniciaram-se com a caracterização climática da área, tendo-se coletado e analisado informações de estações próximas

Em seguida, nos estudos pluviométricos, coletaaram-se e analisaram-se as informações de 8 estações próximas à região. Foram elaborados três estudos a partir dos dados de chuvas

- estudo de caracterização do regime pluviométrico,
- estudos de chuvas intensas,
- chuva média diária sobre a bacia hidrográfica

Para a caracterização do escoamento afluente à barragem, base para os estudos de regularização, foram realizados os estudos de vazões mensais, via modelo hidrológico chuva-deflúvio, visto tratar-se de bacia sem dados pluviométricos observados. A estação Granja, no rio Coreau, serviu para estimativa dos parâmetros do modelo MODHAC.

No capítulo seguinte, são apresentados os estudos de cheias de 1 000 anos e 10 000 anos de período de retorno afluentes à barragem. Devido à ausência de dados observados, utilizou-se modelo hidrológico baseado no método do SCS (Soil Conservation Service), o modelo HEC-1

Partiu-se, em seguida, para o dimensionamento hidrológico-econômico da capacidade do açude a ser projetado. Para isso, pré-dimensionou-se o sangradouro para diversas cotas de sangria, simulando-se a laminação da cheia de 1.000 anos

Para cada melhor opção do sangradouro, estimou-se o custo da barragem, obtendo-se assim a curva de custo do m<sup>3</sup> regularizado para cada alternativa. Essa curva foi elaborada para o parâmetro de 90% de atendimento à demanda.



Escolhida a dimensão do açude, elaboraram-se os estudos de laminação para a cheia de 1 000 anos, para dimensionamento do sangradouro, e para a cheia de 10 000 anos, para garantir que a barragem não seja galgada nessa cheia, dimensionando a cota do coroamento nesse sentido

Alguns estudos complementares foram acrescentados, tais como a probabilidade de enchimento e esvaziamento do reservatório

## CAPÍTULO 2 - CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

---

000014

## 2 - CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

A abordagem da climatologia a ser desenvolvida visa dar subsídios as etapas subseqüentes dos estudos a serem realizados para a construção da Barragem Gangorra

Para caracterizar a hidroclimatologia da zona onde será construída a barragem Gangorra, foi considerada a estação de Sobral, situada no município homônimo. Esta estação não será utilizada para caracterizar a precipitação e a evaporação da região, sendo utilizado no caso da precipitação postos próximos da área de estudo e como estimativa da evaporação a evapotranspiração calculada por Hargreaves. A caracterização hidroclimatológica da zona será feita utilizando-se os dados fornecidos pelo INEMET(1992)<sup>1</sup>, os quais foram obtidos através de medições realizadas durante os anos de 1961 a 1990

### 2.1 - PRINCIPAIS PARÂMETROS

#### 2.1.1 - Temperatura

A distribuição temporal de temperaturas diárias mostra pequenas variações para três pontos discretos de monitoramento realizadas às 12.00, 18.00 e 24.00 do tempo do meridiano de Greenwich -TMG-, sendo tais flutuações processadas, sob uma visão contínua no tempo, com pequenos gradientes

A temperatura média compensada é obtida por ponderação entre as temperaturas observadas na estação meteorológica, fazendo-se uso da fórmula estabelecida pela Organização Meteorológica Mundial -OMM-

$$T_{\text{comp}} = \frac{T_{12} + 2 T_{24} + T_{\text{MAX}} + T_{\text{MIN}}}{5}$$

onde,  $T_{\text{comp}}$  Temperatura média compensada

$T_{12}$  Temperatura observada às 12.00 TMG

---

<sup>1</sup> INEMET, 1992 INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROCLIMATOLÓGICAS



$T_{24}$  Temperatura observada às 24 00 TMG

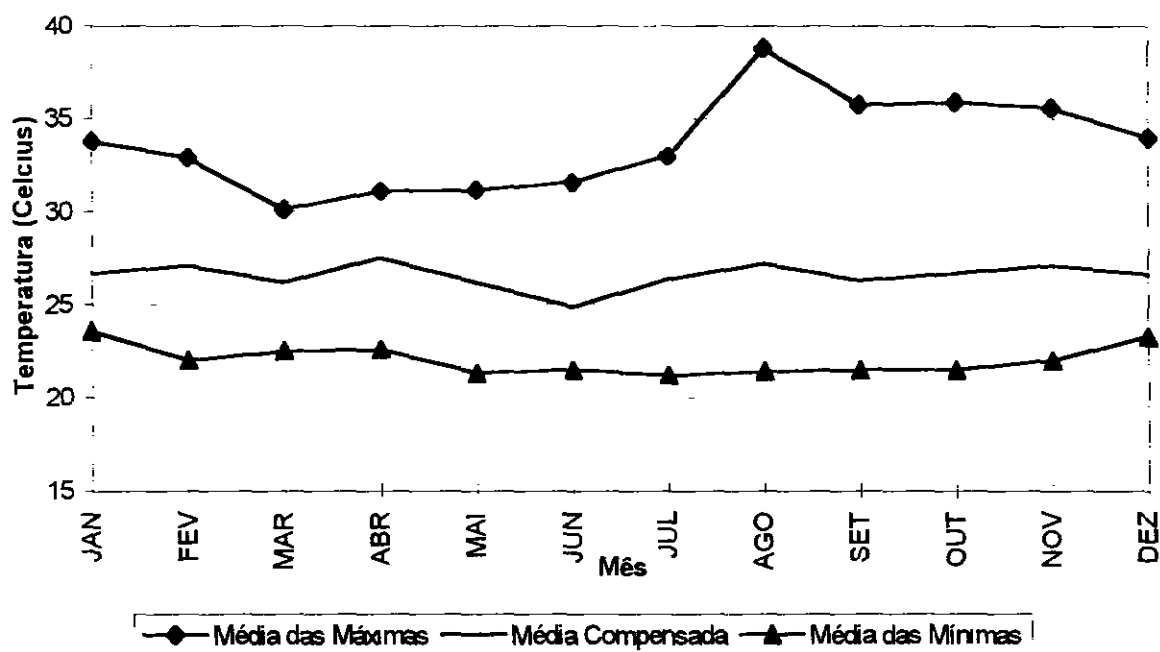
$T_{MAX}$  Temperatura máxima do dia

$T_{MIN}$  Temperatura mínima do dia

**Quadro 2.1 - Temperaturas Médias Máximas, Médias Mínimas e Médias Compensadas (°C) na estação de Sobral - CE.**

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MEDIA
Máxima	33,8	32,9	30,1	31,1	31,2	31,6	33,0	38,8	35,8	35,9	35,6	34,0	33,7
Comp	26,7	27,1	26,2	27,5	26,2	24,9	26,4	27,2	26,3	26,7	27,1	26,6	26,6
Minima	23,6	22,0	22,5	22,6	21,3	21,5	21,2	21,4	21,5	21,5	22,0	23,3	22,0

FONTE INEMET (1992)



**Figura 2.1 - Temperaturas Médias Máximas, Médias Mínimas e Médias Compensadas na estação de Sobral - CE.**

A temperatura média compensada apresenta uma pequena variação de 2,6 °C, isso para os meses de junho (24,9 °C) e abril (27,5 °C) As médias máximas e médias mínimas extremas ocorrem, respectivamente, no mês de agosto (38,8 °C) e julho (21,2 °C), conforme se observa no quadro 2 1 e na figura 2 1

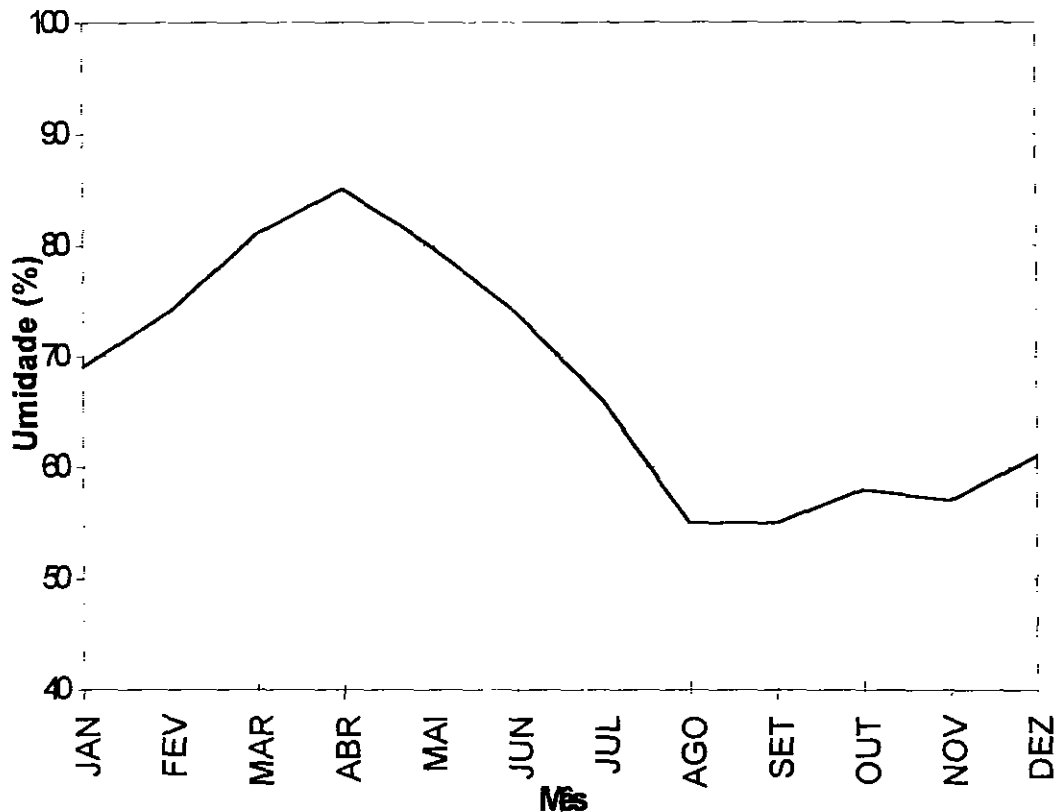
### 2.1.2 - Umidade Relativa

A umidade relativa média possui uma variação máxima de 25% ocorrida entre os meses de abril (80%) e novembro (55%), como pode ser verificado no quadro 2 2 e na figura 2 2

**Quadro 2.2 - Umidade Relativa Média na estação de Sobral - CE.**

Mês	JAN	FEV	MA R	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MÉDIA
%	69	74	81	85	80	74	66	55	55	58	57	61	68

FONTE INEMET (1992)



**Figura 2 2 - Umidade Relativa Média na estação de Sobral - CE.**

Os índices de umidade relativa medidos resultam de uma composição de efeitos climatológicos, levando-se em consideração, a pluviometria a qual é o principal componente do fenômeno

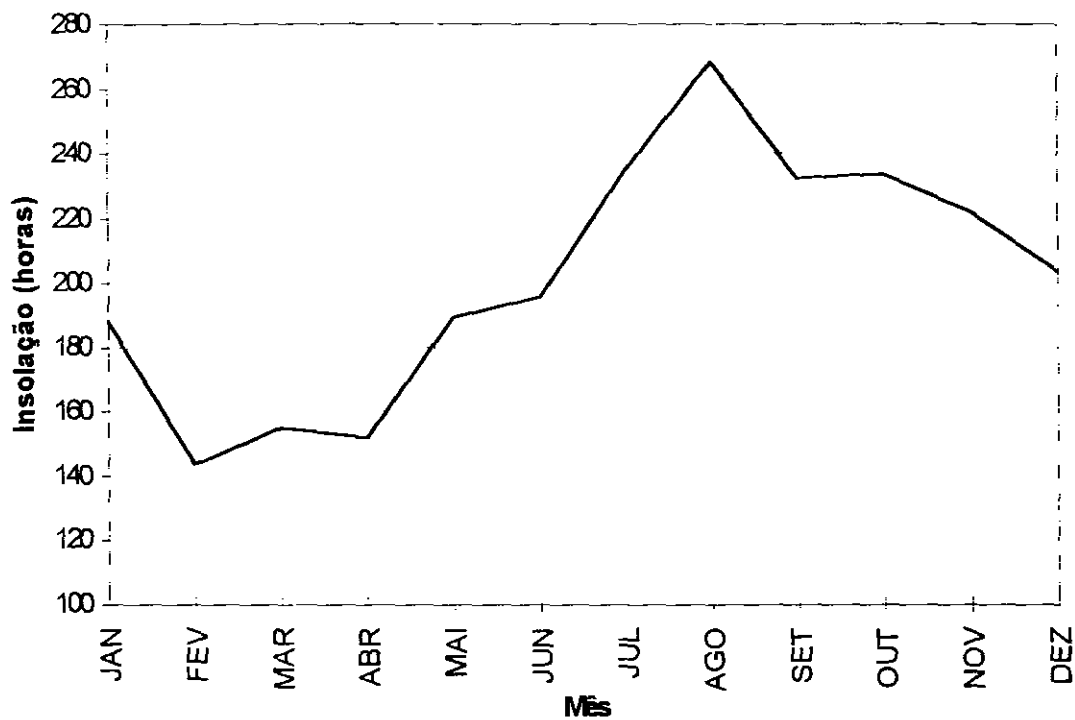
### **2 1 3 - Insolação Média**

O quadro 2 3 e a figura 2 3 mostram, respectivamente, o número de horas médio de exposição solar na estação de Sobral - CE e sua distribuição mensal. Em termos médios anuais têm-se 2416,6 horas de exposição, podendo-se concluir que cerca de 55,2 % dos dias do ano possuem incidência solar direta (admitindo-se que o dia está composto por 12 horas de luz diurna e 12 horas de luz noturna). Durante os meses de julho, agosto, setembro e outubro ocorrem os maiores valores de horas de insolação, os menores valores ocorrem no trimestre fevereiro/março/abril. O mês de agosto apresenta o maior índice de insolação (268,2 horas) e o mês de fevereiro o menor (143,5 horas).

**Quadro 2.3 - Insolação Média na estação de Sobral - CE.**

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
horas	188,1	143,5	155,0	151,7	189,3	195,5	234,7	268,2	232,2	233,4	221,8	203,2	2416,6

FONTE INEMET (1992)



Figura

**Figurara 2.3 - Insolação total média na estação de Sobral - CE.**

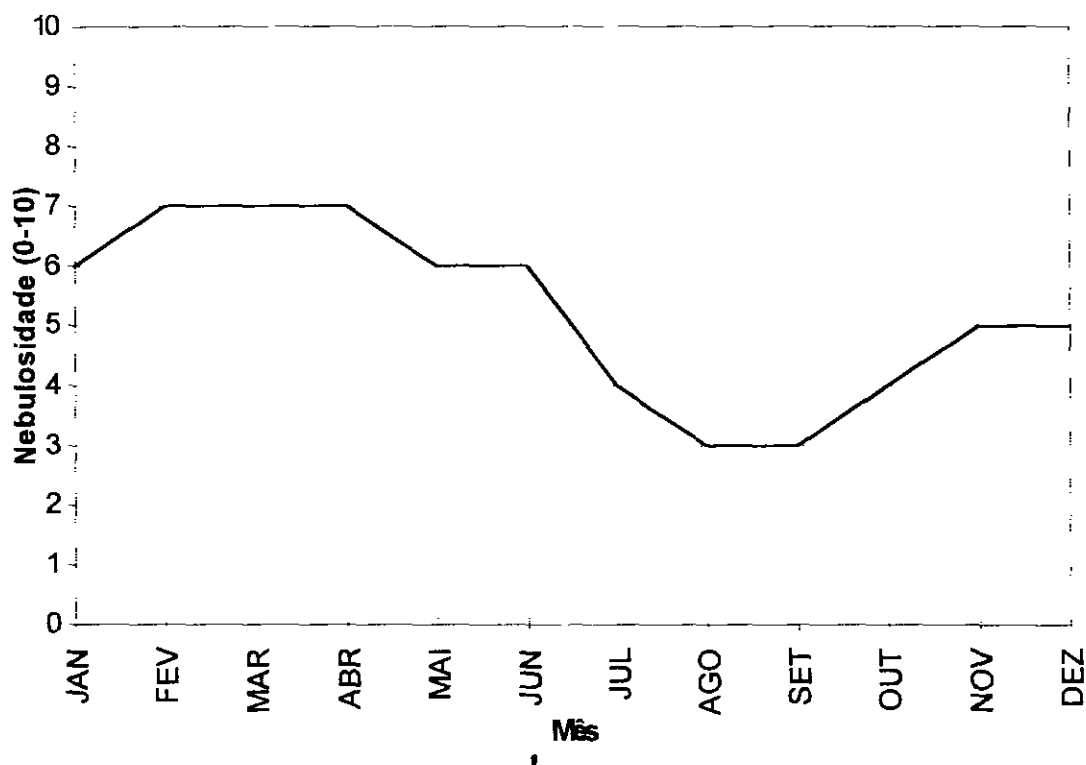
#### 2 1.4 - Nebulosidade

Na estação de Sobral - CE apresenta-se uma variação máxima na nebulosidade de 4,0, sendo os meses de maior índice de nebulosidade fevereiro, março e abril (7,0) e os de menores agosto e setembro (3,0). Esta variável é avaliada por um fator adimensional que varia entre 0 e 10. O quadro 2.4 e a figura 2.4 permitem observar a variação temporal desta variável.

**Quadro 2 4 - Nebulosidade na estação de Sobral - CE.**

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	MEDIA
0-10	6 0	7 0	7 0	7 0	6 0	6 0	4 0	3 0	3 0	4 0	5 0	5 0	5,3

FONTE INEMET (1992)



**Figura 2.4 - Nebulosidade na estação de Sobral - CE.**

### 2 1.5 - Precipitação Total

A precipitação total anual observada na estação de Granja - CE é de 1 052,5 mm. As precipitações estão concentradas no primeiro semestre onde ocorre, aproximadamente, 94,7% do total anual, o trimestre mais chuvoso é fevereiro/março/abril/maio com 70,2% do total, o trimestre menos chuvoso é agosto/setembro/outubro onde precipita pouco mais do 0,6% do total anual. O mês mais chuvoso é março (269 mm) e no mês de setembro ocorre o menor índice de

precipitação (0 mm) A distribuição temporal da precipitação é apresentada no quadro 2 5 e na figura 2 5

Quadro 2 5 - Precipitação Total em Granja - CE

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
mm	101,10	203,4	276,0	245,4	132,8	37,1	11,9	2,7	0,6	1,8	10,6	29,9	1052,50

FONTE PERH (1992)

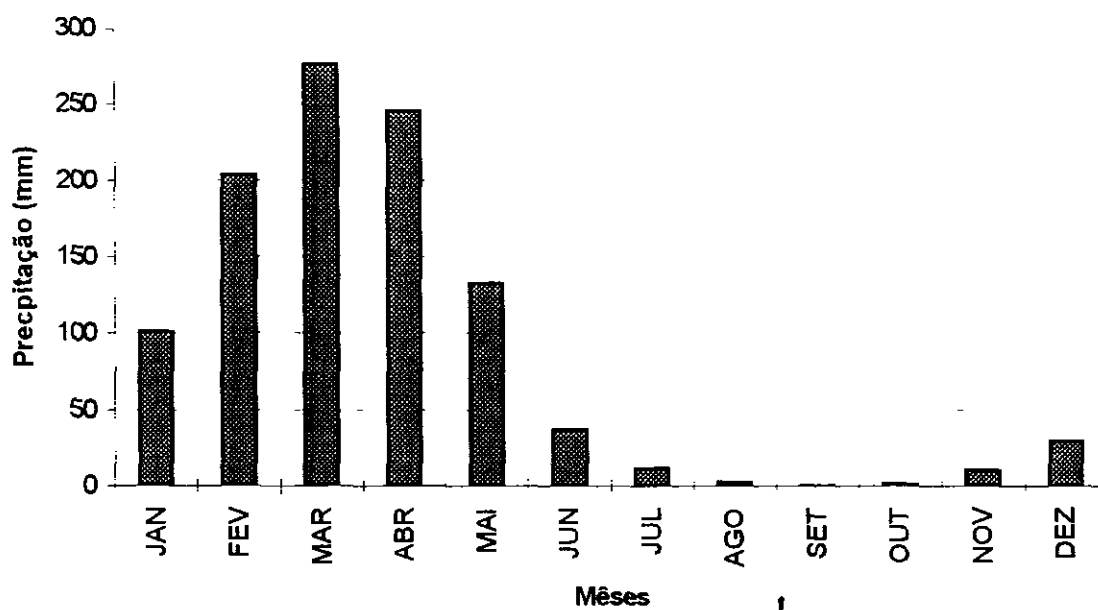


Figura 2.5 - Precipitação média mensal em Granja.

### 2.1.6 - Evaporação total média

Como estimativa da evaporação média na localidade de Granja - CE, foram utilizados as estimativas de Hargreaves<sup>2</sup> para evapotranspiração, o que corresponde a aproximadamente 0,75 - 0,80 da evaporação do Tanque Classe A (PERH, 1992)

**Quadro 2 6 - Evaporação média mensal em Granja - CE.**

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
mm	148	121	119	108	101	109	123	147	164	170	163	161	1634

FONTE HARGREAVES (1974)

O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro (224,7 mm) O trimestre março/abril/maio possui o menor índice de evaporação, ocorrendo o mínimo em março com 94,6 mm Vale ressaltar, entretanto, que para adoção destes valores como representativos da evaporação em acudes, deve-se multiplicar por um coeficiente de correção que varia entre 0,70 e 0,80

---

<sup>2</sup>HARGREAVES, G H 1974, POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION AND IRRIGATION REQUIREMENTS FOR NORTH-EAST OF BRAZIL, UTAH STATE UNIVERSITY

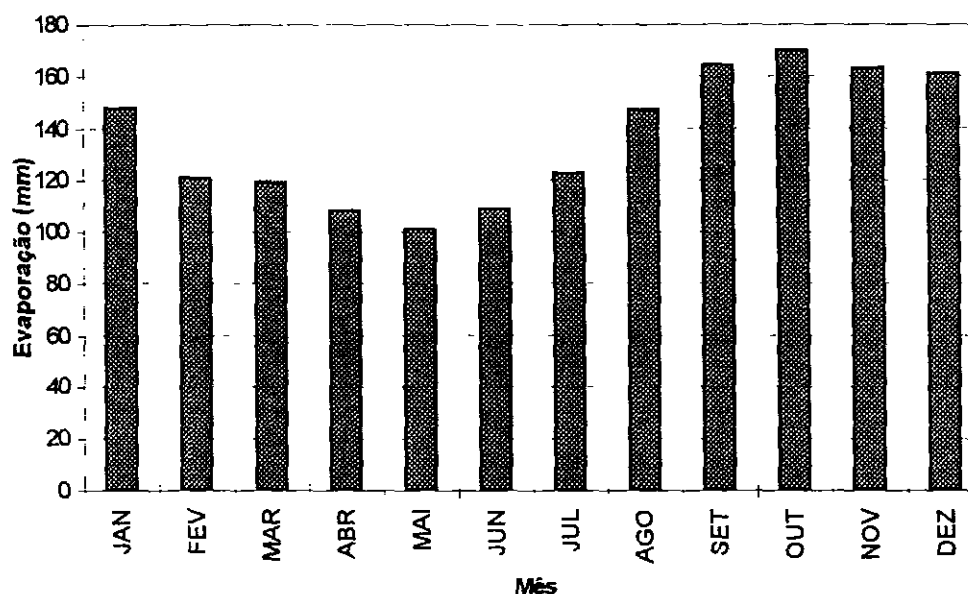


Figura 2 6 - Evaporação total média em Granja - CE.

## 2.2 - BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico climático -BHC- permite estimar as disponibilidades de água no solo para as plantas. O BHC baseia-se na aplicação do princípio da conservação da massa através de um volume de controle com uma capacidade finita de armazenamento. A aplicação do BHC permite conhecer a magnitude dos volumes (ou lâminas) de água transferidos entre cada uma das variáveis que compõe esse balanço.

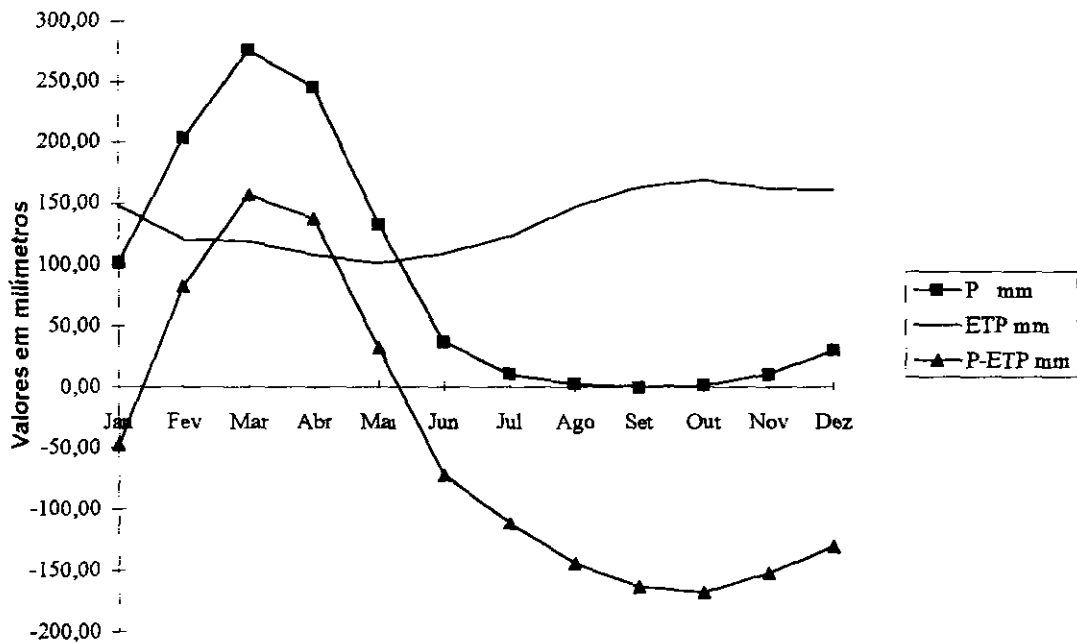
Essas variáveis são a precipitação pluvial, o déficit hídrico, a evapotranspiração potencial, a variação no armazenamento de água no solo e o excesso hídrico. Este princípio é a base do balanço hídrico, concebido por Thornthwaite & Mather (1955), e tem sido utilizado amplamente quando não se dispõe de muitos dados para realizar um estudo mais apurado.

Aplicando-se a metodologia do balanço hídrico para a bacia em questão, supondo-se uma capacidade de armazenamento de 100 mm, obtém-se o quadro 2.8. A figura 2.7 apresenta as variáveis Precipitação, Evaporação e sua diferença.



**Quadro 2 8 - Balanço Hídrico segundo Thornthwaite & Mather**

Mês	P mm	ETP mm	P-ETP mm	Neg mm	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	101,10	148,00	-46,90	0,00	0,00	0,00	101,10	46,90	0,00
Fev	203,40	121,00	82,40	19,00	82,40	82,40	121,00	0,00	0,00
Mar	276,00	119,00	157,00	0,00	100,00	17,60	119,00	0,00	139,40
Abr	245,40	108,00	137,40	0,00	100,00	0,00	108,00	0,00	137,40
Mai	132,80	101,00	31,80	0,00	100,00	0,00	101,00	0,00	31,80
Jun	37,10	109,00	-71,90	71,90	48,00	-52,00	89,10	19,90	0,00
Jul	11,10	123,00	-111,90	183,80	15,00	-33,00	44,10	78,90	0,00
Ago	2,70	147,00	-144,30	328,10	4,00	-11,00	13,70	133,30	0,00
Set	0,60	164,00	-163,40	491,50	0,00	-4,00	4,60	159,40	0,00
Out	1,80	170,00	-168,20	659,70	0,00	0,00	1,80	168,20	0,00
Nov	10,60	163,00	-152,40	812,10	0,00	0,00	10,60	152,40	0,00
Dez	29,90	161,00	-131,10	943,20	0,00	0,00	29,90	131,10	0,00
ANO	1052,50	1634,00	-581,50		449,40	0,00	743,90	890,10	308,60



**Figura 2.7 - Balanço Hídrico**

## 2.3 - CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA

### 2.3.1 - Classificação segundo Thornthwaite

Segundo esta classificação, o elemento determinante do clima é a evapotranspiração, além da característica pluviométrica e térmica. Como forma de auxiliar na classificação de tipos e subtipos climáticos, três parâmetros foram introduzidos por Thornthwaite, a saber

#### - Índice de aridez:

O índice de aridez vem a ser a deficiência hídrica expressa em porcentagem da evapotranspiração potencial. Este índice apresentou o valor 54 a partir dos dados do Balanço Hídrico.

#### - Índice de umidade:

O índice de umidade é o excesso de água (Exc) expresso em porcentagem da necessidade que é representado pela evapotranspiração potencial (ETP), sendo igual este índice igual a 19.

#### - Índice efetivo de umidade:

Este índice reflete o excesso ou déficit de água ao longo do ano, apresentando um valor igual a -14.

Os dados para a área em estudo, mostram um clima seco e sub-úmido tipo C<sub>1</sub> com índice hídrico variando entre -20% e -40%, sub-tipo S, com moderado excesso de água no inverno; tipo A', megatérmico e sub-tipo a', baixa variação estacional (C<sub>1</sub>SA'a')

## 2.4 - SINOPSE CLIMATOLÓGICA

Pluviometria Média Anual	.	.	1 052,5 mm
Evaporação Média Anual			1 634 mm
Nebulosidade Média Anual			5,25
Insolação Média Anual	.		201,4 h
Umidade Relativa Média Anual			67,9%
Temperatura Média Anual Média das Máximas			33,7 °C
Temperatura Média Anual Média das Médias	..		26,6 °C
Temperatura Média Anual Média das Mínimas	.	.	22,0 °C
Classificação Climática			C <sub>1</sub> SA'a'

1

### CAPÍTULO 3 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

---

### 3 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

A pluviometria do Estado foi detalhadamente analisada por ocasião do PERH (Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará, 1990), sendo esta análise iniciada com a coleta dos registros inventariados e atualizados até 1988 pela SUDENE (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste). Esta etapa foi seguida por várias outras, entre as quais destaca-se, para os fins deste trabalho a caracterização do regime pluviométrico em vários intervalos de tempo e o estabelecimento de série pluviométrica média para as bacias hidrográficas dos acudes de médio e grande porte

#### 3.1 - DADOS UTILIZADOS

O PERH contemplou a consistência e a homogeneização das séries pluviométricas pelo método do Vetor Regional

Foram utilizados 8 postos neste estudo, todos próximos à área de interesse, (bacia do riacho Gangorra com um área de 105,0 km<sup>2</sup>), pertencentes a dois grupos regionais, Chaval e Granja

O quadro 3 1 mostra os postos pluviométricos utilizados que fazem parte dos grupos regionais de Chaval e Granja, ou seja, aqueles utilizados na formação do Vetor Regional

**Quadro 3.1 - Estações Pluviométricas pertencentes aos Grupos Homogêneos Chaval e Granja.**

POSTO	CÓDIGO	COORDENADAS		ALTITUDE m	MÉDIA ANUAL mm
		LATITUDE-LONGITUDE			
<b>GRUPO CHAVAL</b>					
Barroquinha	2757986	2°59'	41°05'	5	1158,4
Chaval	2767053	3°02'	41°15'	14	920,8
Ibuguaçu	2767748	3°22'	41°16'	80	866,4
Caraúba	2767789	3°23'	41°04'	150	1078,1
Iboaçú	2768719	3°23'	40°55'	200	1203,9
<b>GRUPO GRANJA</b>					
Parazinho	2768069	3°02'	41°40'	80	1108,5
Granja	2768235	3°07'	40°50'	9	1052,5
Martinópolis	2768466	3°23'	40°41'	85	1234,6

Fonte DNAEE (1983)

### 3.2 - CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO

#### 3.2.1 - Nível Mensal

A análise da distribuição temporal mostra a concentração do total precipitado no primeiro semestre do ano, correspondendo a cerca de 95% do total anual.

A nível trimestral nota-se mais ainda a gravidade da concentração temporal, onde constata-se que cerca de 68% do total anual precipita-se em apenas três meses do ano, no trimestre Março/Abril/Maio. Neste trimestre o mês de abril corresponde ao mais chuvoso, com cerca de 26% do total anual.

No Quadro 3.2 mostra-se um resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral), enquanto que no quadro 3.4 apresenta-se um resumo da análise de frequência utilizando a série de totais mensais para os meses do trimestre mais chuvoso nos postos considerados. Os períodos de retorno utilizados variam de 5 a 1000 anos, com totais pluviométricos obtidos por ajustamento da distribuição Log-Pearson III.

**Quadro 3.2 - Índices de Concentração Pluviométrica. Série de Valores Médios Mensais**

CÓDIGO	MÊS MAIS CHUVOSO			TRIMESTRE MAIS CHUVOSO			SEMESTRE MAIS CHUVOSO		
	MÊS	mm	%	TRI	mm	%	S	mm	%
2757986	MARCO	285 9	24 7	FMA	756 3	65 3	1	1101 7	95 1
2767053	MARCO	233 0	25 3	FMA	609 7	66 2	1	874 0	94 9
2767748	ABRIL	252 0	29 1	FMA	603 7	69 7	1	847 5	97 8
2767789	ABRIL	307 2	28 5	MAM	740 4	68 7	1	1033 9	95 9
2768069	MARCO	294 8	26 6	FMA	727 0	65 6	1	1028 9	92 8
2768235	MARCO	276 0	26 2	FMA	724 3	68 8	1	992 5	94 2
2768466	MARCO	321 0	26 0	FMA	817 1	66 2	1	1155 6	93 6
2768719	ABRIL	315 8	26 2	FMA	820 0	68 1	1	1145 5	95 2

**Quadro 3.4 - Análise de Frequência a Nível Mensal. Mês do Trimestre mais chuvoso. Distribuição Log-Pearson III.**

Código	N Nº anos	TR (ANOS)				
		10	100	200	500	1000
2757986	27	432,36	789,80	897,55	1039,37	1145,62
	27	446,39	660,10	724,57	811,51	878,99
	27	504,46	822,61	913,93	1032,18	1119,67
2767053	37	352,56	673,22	789,46	961,03	1106,18
	39	449,86	652,60	708,71	780,79	834,01
	40	427,97	784,53	877,27	1000,03	1093,09
2767748	23	243,14	450,32	523,74	630,99	720,87
	23	526,77	1050,64	1223,04	1460,49	1646,44
	24	537,13	1068,18	1255,29	1525,40	1748,24
2767789	22	547,83	976,05	1100,89	1293,88	1435,65
	22	604,83	1207,72	1431,37	1765,53	2051,58
	21	349,37	727,30	858,51	1044,77	1195,18
2768069	28	522,23	1240,18	1497,29	1864,08	2160,41
	29	608,01	1046,15	1174,40	1341,47	1465,63
	28	516,35	870,58	979,41	1124,19	1234,32
2768235	58	424,29	690,87	757,77	837,78	892,27
	59	440,22	619 22	665,41	722,62	763,34
	59	412,12	598,70	646,70	705,85	747,68
2768466	27	341,59	562,69	636,07	739,96	824,53
	27	507,26	743,11	811,83	902,70	971,79
	27	568,41	1008,35	1147,65	1337,70	1485,97
2768719	45	431,07	736,34	818,94	921,66	994,42
	44	558,34	833,94	903,94	989,18	1048,56
	45	557,35	807,15	868,06	940,75	990,36

### 3 2.2 - Nível Diário

Os principais tipos de precipitações da região são em decorrência da elevação brusca das massas de ar por efeito térmico ou lenta, neste caso quando a massa de ar encontra obstáculos topográficos

A probabilidade de ocorrência de dias chuvosos no período úmido é considerável. Em regiões de influência orográfica a ocorrência de até vinte dias chuvosos no mês não são incomuns.

Na análise hidrológica de prováveis obras hidráulicas, os eventos de alta frequência assumem uma importância maior com relação aos de baixa. Aqui foram utilizadas séries anuais de máximos diários.

Diversas distribuições podem ser utilizadas como teóricas para as frequências observadas. Depois de comparar diversas distribuições, foi escolhida a Log-Pearson III, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no Quadro 3.4.

**Quadro 3.4 - Análise de Frequência de Máximos Diários de Chuva.**

**Distribuição Log-Pearson III**

Código	N Nº. anos	TR (ANOS)				
		10	100	200	500	1000
2757986	26	140,80	229,37	262,57	313,23	357,86
2767053	28	134,48	187,49	202,81	223,05	238,47
2767748	18	123,42	210,16	244,03	297,18	345,43
2767789	19	91,17	116,86	124,38	134,46	142,27
2768069	27	151,69	297,34	357,08	452,57	540,45
2768235	54	99,50	143,47	157,51	177,04	192,69
2768466	27	101,92	130,94	139,51	151,02	159,98
2768719	39	105,33	136,27	145,39	157,61	167,07



### 3.3- ESTUDOS DE CHUVAS INTENSAS

Na análise hidrológica de prováveis obras hidráulicas, os eventos de alta frequência assumem uma importância maior com relação aos de baixa. Aqui foram utilizadas séries anuais de máximos diários escolhidos entre os “n” maiores valores disponíveis na série histórica de cada posto.

Para projetos de obras hidráulicas, em geral, é importante a caracterização do regime pluviométrico em intervalos de tempo inferiores a 24 horas. A definição da vazão de projeto, por exemplo, de canais integrantes da rede de drenagem, obras d’arte, está vinculada a determinação da relação precipitação-duração-frequência.

Na área em estudo não existem registros de pluviógrafos, o aparelho mais comum nas estações pluviométricas é o pluviômetro, que é capaz de registrar a “precipitação de 1 dia”. Isto impossibilita o uso da metodologia convencional, na qual, a partir de chuvas intensas de várias durações registradas em pluviogramas, estabelece-se uma equação que relaciona intensidade-duração-frequência para a área de representatividade do aparelho.

Como alternativa ao método tradicional (através de pluviógrafos), têm-se o Método das Relações das Durações e o Método das Isozonas. O estudo realizado considerou as duas metodologias acima citadas.

#### 3.3.1- Método das Isozonas (TORRICO, 1975)<sup>3</sup>.

Este método consiste na desagregação da chuva de 1 dia em 24 horas e a partir desta em durações menores.

A desagregação da chuva de 24 horas em chuvas de intervalos de tempo de menor duração consiste nas seguintes etapas de cálculo:

- 1 multiplicar a chuva de um dia de duração por 1/10 para obter-se a chuva pontual de 24 horas,

---

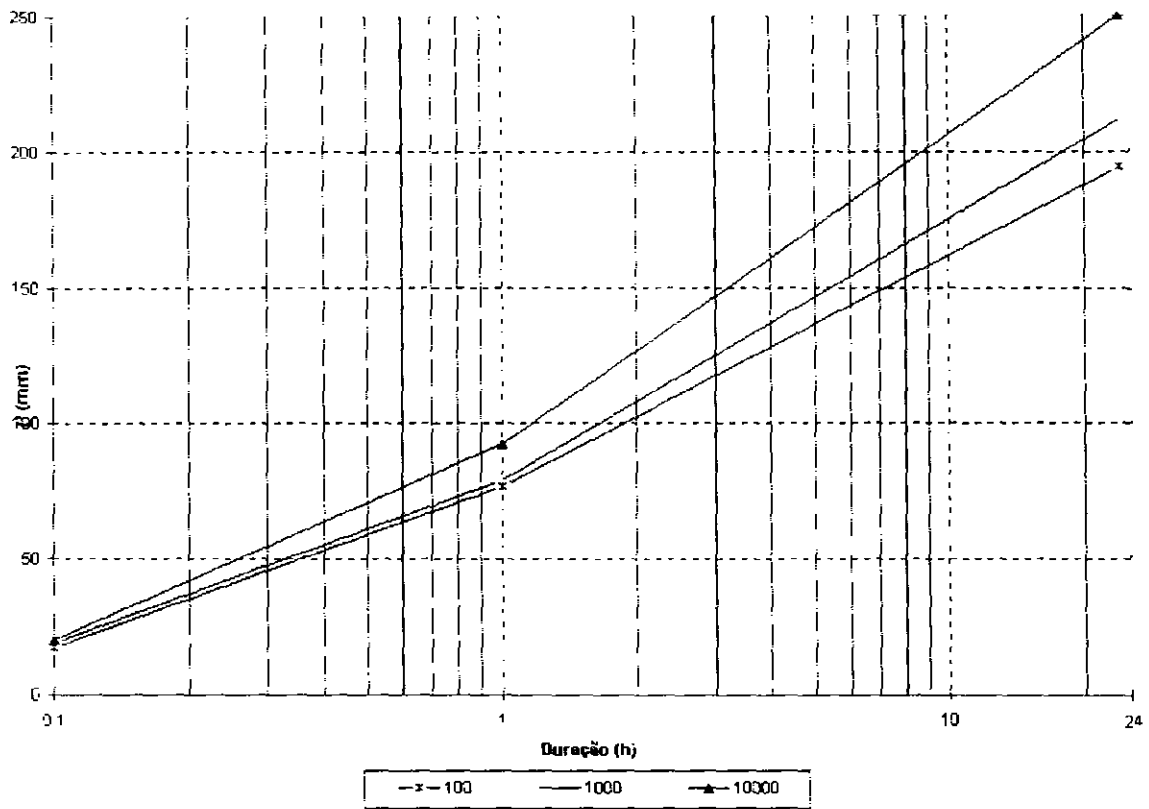
<sup>3</sup> TORRICO, J. T., 1975. PRÁTICAS HIDROLÓGICAS, 2ª Ed., TRANSCOM, RIO DE JANEIRO.

- 2 determinar a isozona onde está localizado o centro de gravidade da bacia hidrográfica - a barragem de Gangorra está localizada dentro da isozona C (figura 3 1),
- 3 estimar para os diferentes períodos de retorno, a chuva de 1 hora de duração a partir da chuva de 24 horas, através da multiplicação pelo fator  $R_{1h}$ ,
- 4 plotar os valores  $P_{24h}$  e  $P_{1h}$  em papel probabilístico para obter as chuvas de durações intermediárias

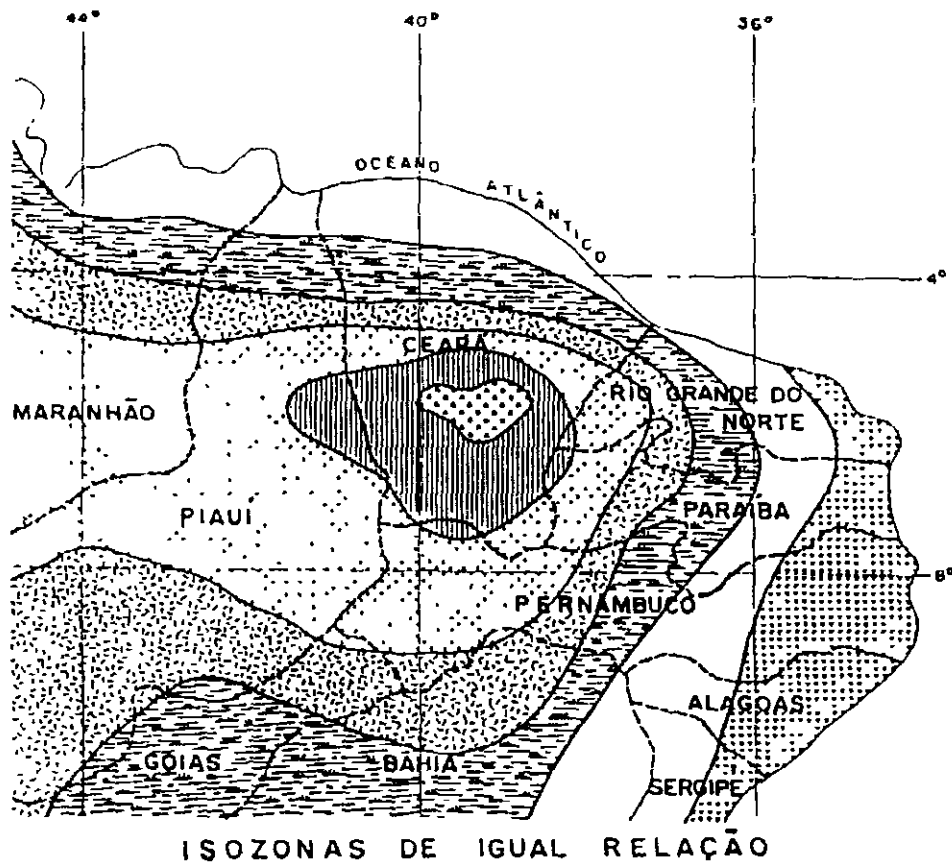
Aplicou-se a metodologia acima descrita para o posto pluviométrico Granja, representativo da área de interesse, estes resultados são apresentados no quadro 3 5 Na figura 3 4 estão graficados estes valores para diferentes tempos de retorno

**Quadro 3.4 - Posto Granja - Chuvas intensas - Distribuição Log-Pearson III.**

Período	PRECIPITAÇÃO (mm)		
	Tr (anos)		
	100	1000	10000
diário	177,0	192,7	227,1
24 h	194,7	212,0	249,8
1 h	76,7	78,9	92,5
6 min	17,5	19,0	20,1



**Figura 3.4 - Curvas precipitação-duração-frequência - Método das Isozonas.**



ISOZONA	TEMPO DE RECORRÊNCIA EM ANOS											
	1 HORA / 24 HORAS CHUVA										5 <sup>min</sup> / 24h CHUVA	
	5	10	15	20	25	30	50	100	1000	10000	5-50	100
B	38,1	37,8	37,4	37,4	37,3	37,2	36,9	36,6	35,4	34,3	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	39,0	39,4	37,2	36,2	9,6	9,0
D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	41,0	40,7	40,3	39,0	37,8	11,2	10,0
E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,2	42,6	42,2	40,9	39,6	12,6	11,2
F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,6	44,3	44,1	42,7	41,3	13,8	12,4
G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,0	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	15,4	13,7
H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,6	48,6	48,3	47,0	46,3	44,8	16,7	14,9

Figura 3 5 - Método das Isozonas de Taborga

## CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE DEFLÚVIOS

---

#### 4 - ESTUDO DE DEFLÚVIOS

A estimativa das vazões afluentes mensais ao acude foi realizada objetivando fornecer elementos para a simulação da operação e, conseqüentemente, o dimensionamento do reservatório

A bacia hidrográfica do acude Gangorra não possui estação fluviométrica, levando à utilização de um modelo chuva-deflúvio

O modelo escolhido foi o MODHAC<sup>4</sup>, cujos resultados no PERH-CE demonstraram uma boa adequação às bacias hidrográficas estaduais

O riacho Gangorra é afluente ao rio Coreau, cuja estação fluviométrica de Granja apresentou bons resultados de ajuste no PERH. Por isso, os parâmetros do MODHAC em Granja foram considerados adequados e utilizados na bacia do Gangorra

O modelo MODHAC é composto de três reservatórios fictícios dispostos em séries, cada um com seus parâmetros de ajuste próprios. Estes reservatórios fictícios serão descritos, resumidamente, a seguir

**1 RESERVATÓRIO SUPERFICIAL** permite simular os processos de interceptação da água pela vegetação, o armazenamento nas depressões impermeáveis e semi-permeáveis do solo. Seus parâmetros são

**RSPX.** capacidade máxima do reservatório superficial, e

**ASP.** expoente utilizado para determinar a lei de esvaziamento deste reservatório, proporcional à permeabilidade do reservatório

---

<sup>4</sup> MODHAC - modelo hidrológico Auto Calibravel - A.E.L. Lama & M. Schwarzbach - 1989 - publicação de Recursos Hídricos 21 - Instituto de Pesquisas Hidráulicas I.P.H. - U.F.R.G.S.

2 **RESERVATÓRIO SUB-SUPERFICIAL:** permite representar a água armazenada dentro do solo, desde a superfície do terreno até a profundidade radicular das plantas. A recarga deste reservatório é a infiltração e as descargas são o escoamento hipodérmico, evaporação do solo e a evapotranspiração das plantas. São seus parâmetros

**RSSX:** capacidade máxima do reservatório sub-superficial, e

**ASS:** expoente utilizado para determinar a lei de esvaziamento deste reservatório, proporcional a permeabilidade das camadas mais superficiais do solo

3 **RESERVATÓRIO SUBTERRÂNEO:** representa o armazenamento da água nas camadas mais profundas do solo onde não existe nem evapotranspiração das plantas, nem evaporação do solo. A recarga deste reservatório é a percolação profunda do reservatório sub-superficial e a descarga é o escoamento de base. Seus parâmetros são

**RSSB:** capacidade máxima do reservatório subterrâneo, e

**ASB:** expoente utilizado para determinar a lei de esvaziamento deste reservatório, proporcional à transmissividade das camadas mais profundas do solo

Alem destes coeficientes próprios de cada reservatório fictício, existem outros que permitem representar as características do solo e da evaporação. São eles

†

**IMIN:** infiltração mínima observada,

**IMAX:** representa a capacidade de percolação de todo o horizonte do solo;

**IDEC:** parâmetro que permite representar uma gama de valores compreendida entre o ponto onde não existe infiltração e o ponto que representa toda a água infiltrada, e

**CEVA:** parâmetro da lei de evapotranspiração do solo

## 4.2 - DADOS NECESSÁRIOS

Para a simulação da vazão mensal afluyente ao Gangorra, foram necessários os seguintes dados

- série diária de chuva média sobre a bacia,
- série de evapotranspiração média potencial sobre a bacia;
- parâmetros do modelo

A série diária de chuvas é aquela apresentada nos Estudos Pluviométricos. A série de ETP foi calculada, para cada estação, pelo método de HARGREAVES (Ver capítulo 2)

Os parâmetros do MODHAC utilizados são aqueles ajustados para a estação de Granja, no Rio Coreau, e são mostrados no Quadro 4.1

**Quadro 4.1 - Parâmetros Utilizados pelo Modelo MODHAC - Posto Granja**

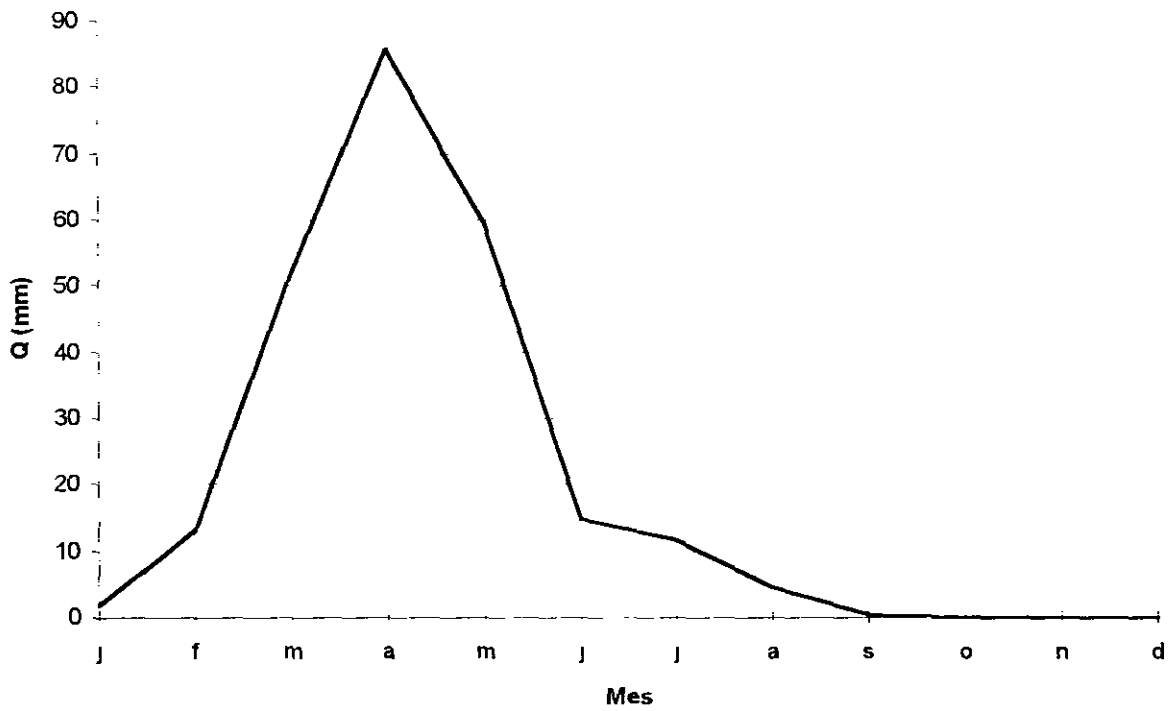
RSPX mm	RSSX mm	RSBX	RSBF	IMAX mm/ dia	IMIN mm/ dia	IPEC	ASP	ASS	ASB	PRED	CEVA
205,5	209,6			18,67	6,15	0,792	0,001	0,0043			0,8454

Os resultados médios da série resultante são:

- lâmina anual média escoada = 243,8 mm
- volume anual médio escoado = 25,6 hm<sup>3</sup>
- coeficiente de variação dos deflúvios anuais = 1,16

Na figura 4.3 encontra-se o Hidrograma Médio da série resultante.





**Figura 4.3 - Hidrograma Médio das Vazões Geradas pelo MODHACX**

A série mensal resultante é apresentada no Quadro 4 2

Quadro 4 2 - Série Mensal resultante para a estação Granja

ANO	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1912	0,00	0,13	44,34	54,63	133,96	24,53	22,52	12,82	1,04	0,00	0,00	0,00
1913	0,00	42,47	230,69	261,94	280,79	24,91	23,13	17,89	2,40	0,00	0,00	0,00
1914	0,04	0,30	16,48	26,23	12,13	9,47	6,76	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
1915	0,00	0,00	0,00	0,22	0,52	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
1916	0,05	101,80	354,58	291,50	67,69	23,74	21,84	9,92	0,02	0,00	0,00	0,00
1917	0,12	69,97	60,57	167,19	253,66	25,63	35,52	21,23	5,18	0,00	0,01	0,01
1918	0,00	0,03	10,01	41,32	37,44	14,38	13,44	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00
1919	0,02	0,01	0,15	0,09	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1920	0,00	0,02	137,77	102,10	16,53	14,55	12,00	1,69	0,00	0,00	0,00	0,00
1921	0,02	0,03	73,26	77,42	281,60	39,74	23,65	10,31	0,04	0,00	0,00	0,00
1922	0,00	0,01	0,12	84,44	40,34	15,28	14,44	11,70	0,82	0,00	0,00	0,00
1923	0,00	17,96	53,52	63,71	16,14	13,81	10,94	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00
1924	13,51	22,64	162,40	212,45	250,48	24,42	22,58	11,87	0,18	0,00	0,00	0,00
1925	0,00	0,14	26,83	49,56	45,28	11,01	5,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1926	0,05	87,59	198,03	100,41	45,48	23,47	18,53	3,34	0,00	0,00	0,00	0,00
1927	0,01	38,79	113,43	225,57	44,02	23,39	20,15	6,47	0,00	0,00	0,00	0,00
1928	0,01	0,04	3,18	171,89	44,88	12,53	9,25	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00
1929	0,01	13,31	167,72	213,88	132,65	24,55	22,31	8,64	0,00	0,00	0,00	0,00
1930	0,02	0,20	19,88	44,41	9,35	8,46	8,24	4,49	0,00	0,00	0,00	0,00
1931	0,09	0,09	23,06	18,30	25,89	8,42	7,92	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00
1932	0,00	0,03	0,04	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1933	0,01	0,07	30,38	53,16	10,50	9,54	9,02	1,81	0,00	0,00	0,00	0,00
1934	0,00	0,04	0,41	64,55	63,60	17,68	12,86	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00
1935	0,00	0,04	0,42	97,23	69,48	15,94	14,11	2,02	0,00	0,00	0,00	0,00
1936	0,00	0,07	0,14	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1937	0,00	0,01	0,25	0,56	1,12	1,53	1,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1938	0,00	0,00	0,19	43,31	7,61	6,97	4,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1939	0,00	0,02	37,01	16,22	9,93	6,32	4,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1940	0,01	0,05	33,45	168,32	26,41	17,82	16,66	6,16	0,00	0,00	0,00	0,00
1941	0,00	0,01	0,10	0,05	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1942	0,00	0,03	0,25	0,64	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
1943	0,00	0,01	0,02	0,18	0,44	0,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1944	0,00	0,00	0,05	37,39	72,87	9,97	8,07	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00
1945	0,03	52,35	74,56	123,99	72,84	23,69	21,46	7,49	0,00	0,00	0,00	0,01
1946	0,01	0,07	0,33	43,88	5,80	5,41	3,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1947	0,00	0,09	104,67	116,84	149,71	24,98	22,83	9,13	0,00	0,00	0,00	0,03
1948	0,00	0,06	0,35	61,67	12,28	7,94	6,69	0,15	0,00	0,00	0,00	0,01

Quadro 4 2 - Série Mensal resultante para a estação Granja (Cont )

ANO	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1949	0,00	0,05	0,37	48,30	19,25	11,51	9,44	0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
1950	0,00	0,00	0,10	72,13	28,92	12,50	10,79	1,15	0,00	0,00	0,00	0,00
1951	0,00	0,00	0,01	0,19	0,74	1,10	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
1952	0,01	0,00	0,10	0,31	0,54	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
1953	0,00	0,01	0,27	0,78	1,35	1,57	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1954	0,00	0,04	8,96	76,73	74,25	13,03	12,27	4,31	0,00	0,00	0,00	0,00
1955	0,01	40,56	3,52	305,31	46,30	22,76	13,34	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
1956	0,00	0,03	53,53	61,02	24,88	12,96	4,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1957	0,00	0,03	53,84	61,56	25,37	13,38	4,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1958	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1959	0,00	0,12	172,37	54,31	44,98	17,75	10,65	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
1960	0,00	0,13	172,25	54,33	44,99	17,76	10,66	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
1961	0,00	0,12	62,12	21,60	15,33	13,89	11,91	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00
1962	0,00	0,12	62,12	21,60	15,33	13,89	11,91	1,85	0,00	0,00	0,00	0,00
1963	3,93	118,13	178,95	284,89	26,56	23,02	17,75	4,00	0,00	0,00	0,00	0,01
1964	0,15	34,59	77,39	298,85	148,42	25,59	23,60	12,48	0,23	0,00	0,00	0,00
1965	0,00	0,00	0,13	188,32	16,37	14,43	13,25	3,05	0,00	0,00	0,00	0,00
1966	0,00	0,08	0,21	0,13	0,54	0,85	0,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1967	0,00	0,12	23,83	49,53	49,50	17,86	16,33	4,55	0,00	0,00	0,00	0,00
1968	0,00	0,00	15,58	73,08	152,87	22,06	20,10	6,84	0,00	0,00	0,00	0,00
1969	0,01	0,07	0,19	91,20	10,22	9,49	8,93	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1970	0,00	0,00	0,21	0,69	1,25	1,45	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1971	0,02	0,20	46,09	120,32	63,18	37,62	24,39	17,85	1,91	0,00	0,00	0,00
1972	0,00	0,01	0,15	31,35	27,53	8,11	7,82	2,60	0,00	0,00	0,00	0,02
1973	0,25	16,40	97,17	105,77	72,17	24,39	22,49	15,69	1,11	0,00	0,00	0,00
1974	32,63	16,80	294,90	245,46	245,01	85,23	24,18	16,64	1,37	0,00	0,00	0,00
1975	0,00	0,14	15,15	21,18	194,11	19,21	17,84	14,58	2,53	0,00	0,00	0,00
1976	0,00	0,12	60,45	43,51	10,64	9,49	6,73	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
1977	0,03	9,42	60,42	46,94	57,69	16,85	15,85	10,59	0,17	0,00	0,00	0,00
1978	0,07	0,34	0,78	41,61	26,59	9,85	9,37	3,21	0,00	0,00	0,00	0,00
1979	0,01	0,02	8,79	31,93	13,91	8,34	6,90	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
1980	0,04	59,55	34,74	13,90	15,13	11,00	7,77	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
1981	0,00	0,00	19,63	3,46	3,70	3,62	1,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1982	0,00	0,00	0,24	148,55	17,97	12,85	8,54	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
1983	0,00	0,05	0,02	0,22	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Quadro 4 2 - Série Mensal resultante para a estação Granja (Cont )

ANO	MESES											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1984	0,00	0,03	0,17	64,65	94,28	14,20	13,39	7,21	0,00	0,00	0,00	0,00
1985	89,36	253,44	180,51	581,20	493,60	25,62	32,18	23,18	2,88	0,25	0,00	0,01
1986	0,02	0,15	188,68	214,18	123,80	51,63	24,98	17,14	1,53	0,00	0,00	0,00
1987	0,00	0,03	71,68	46,95	35,37	14,35	13,44	6,24	0,00	0,00	0,00	0,00
1988	0,02	0,21	71,54	37,89	104,29	24,24	41,78	22,19	8,77	0,00	0,00	0,00

## 5 - ESTUDO DAS CHEIAS DE PROJETO

---

## 5 - ESTUDO DAS CHEIAS DE PROJETO

A determinação da cheia de projeto para dimensionamento do sangradouro pode ser realizada com base em dados históricos de vazão (métodos diretos) e com base na precipitação (métodos indiretos), estando em ambos os casos associados a um risco previamente escolhido. Diante da escassez de registros históricos de vazões, é mais usual a determinação do hidrograma de projeto com base na precipitação.

O estudo da cheia de projeto é de fundamental importância para a segurança e economia da barragem, podendo o hidrograma de projeto estar baseado em:

- PMP (precipitação máxima provável) para projetos de importantes obras hidráulicas,
- cheia padrão para obras hidráulicas de risco intermediário,
- precipitações associadas a um risco ou probabilidade de ocorrência.

Em barragem pequenas e médias, onde grandes riscos não estão envolvidos, pode-se utilizar o hidrograma de projeto baseado no último caso, podendo o período de retorno de 1000 anos ser suficiente.

### 5.1 - METODOLOGIA

Os métodos estatísticos de obtenção de vazões máximas que se utilizam séries históricas de vazões observadas, procedimento comum para bacias naturais, não podem ser aplicados pela escassez de dados ou, ainda, sua inexistência. Esta falta de dados dos eventos na bacia a ser estudada indicaram a escolha de métodos de transformação chuva-deflúvio como metodologia a ser adotada.

A metodologia procura descrever as diversas hipóteses de cálculo da cheia de projeto: a escolha da chuva de projeto, o hidrograma utilizado, a definição da precipitação efetiva, o hidrograma da cheia na bacia e, por fim, o seu amortecimento no

sangradouro A ferramenta utilizada para a implementação desta metodologia foi o programa HEC-1<sup>5</sup>

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Açude Gangorra foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, um modelo projetado para simular o escoamento superficial em uma bacia, sendo esta representada como um sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Para esta bacia foi estudada a sua resposta ao hietograma de projeto correspondentes a 1000 anos ( $T_r$  = tempo de retorno)

O modelo HEC-1 permite o uso de várias metodologias para determinação da chuva efetiva, simulação do escoamento superficial em bacia (*overland flow*) e propagação do escoamento em canais e reservatórios. No caso da bacia do Gangorra, diante dos dados disponíveis, foi adotado o seguinte

- 1 Método Curva-Número (*Soil Conservation Service*) na determinação da chuva efetiva,
- 2 Método do *Soil Conservation Service* na determinação do hidrograma unitário sintético - Escoamento Superficial na bacia (*Overland flow*),
- 3 Método de Puls para propagação do escoamento em reservatórios.

### 5 1.1 - Precipitação

Para cálculo do escoamento superficial para a bacia do Gangorra foi assumido uma precipitação uniformemente distribuída sobre a referida bacia. O HEC-1 permite a entrada de tormentas históricas ou sintéticas, sendo as últimas frequentemente utilizadas para planejamento e estudos de projetos.

O hietograma adotado baseia-se nas curvas altura-duração-frequência obtida nos estudos hidroclimatológicos, sendo aplicado um fator redutor de área de acordo com o programa HEC-1. O Quadro 5.1 apresenta a chuva de projeto sem aplicar o fator redutor de área.

---

<sup>5</sup> US ARMY CORPS OF ENGINEERS - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, 1990. HEC-1 FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE - USERS MANUAL, 415 p.

**Quadro 5.1 - Chuvas Pontual (mm)**

Período	Tr (anos)		
	100	1000	10000
diário	177,0	192,7	227,1
24 h	194,7	212,0	249,8
1 h	76,7	78,9	92,5
6 min	17,5	19,0	20,1

A partir das curvas precipitação-duração-frequência, foi obtida a precipitação associada aos tempos de retorno de 100, 1000 e 10000 anos para as durações de 5 min, 15 min, 60 min, 2 h, 3 h, 6 h, 12 h e 24 h

O hietograma de projeto tem uma duração igual ao tempo de concentração da bacia, estimado aqui pela fórmula do Califórnia Highways, também conhecida como fórmula de Kirpich

$$T_C = 57 \left( \frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385}$$

onde  $T_C$  = tempo de concentração em minutos,  $L$  = comprimento do maior talvegue em km,  $\Delta H$  = diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório Logo, para a bacia do Gangorra tem-se

Seção Gangorra  $L = 18 \text{ km}$

$\Delta H = 50 \text{ m}$

o que resulta  $T_C = 5,95 \text{ h}$  ,  $T_{LAG} = 3,56 \text{ h}$  Adotou-se  $T_C = 6,0 \text{ h}$  e  $T_{LAG} = 3,6 \text{ h}$



O HEC-1 utiliza estes dados para construir uma distribuição triangular da precipitação, onde é assumido que cada total precipitado para qualquer duração ocorre durante a parte central da tomenta (tormenta balanceada). Alturas correspondentes a 10 e 30 minutos são interpoladas das alturas precipitadas de 5, 15 e 60 minutos através das equações do HYDRO-35 (National Weather Service, 1977)

$$P_{10min} = 0,41 P_{5min} + 0,59 P_{15min}$$

$$P_{30min} = 0,51 P_{15min} + 0,49 P_{60min}$$

onde  $P_n$  é a precipitação para a duração de  $n$  minutos

### 5 1.2 - Precipitação Efetiva

O modelo HEC-1 refere-se a interceptação superficial, armazenamento em depressões e infiltração como perdas de precipitação, ou seja, a parcela da precipitação que não contribui para gerar escoamento é considerada perda, sendo o restante, considerado precipitação efetiva

O cálculo das perdas de precipitação podem ser usadas nos outros componentes do modelo HEC-1, em especial, hidrograma unitário. No caso do hidrograma unitário, estas perdas são consideradas uniformemente distribuídas sobre a bacia (ou sub-bacia)

De maneira geral, existem três metodologias utilizadas para determinação da chuva efetiva: equações de infiltração, índices e relações funcionais. Especificamente, o HEC-1 possibilita o uso de 5 métodos: 1) taxa de perda inicial e uniforme, 2) taxa de perda exponencial, 3) Curva-Número, 4) Holtan, 5) Função de Infiltração Green e Ampt. Foi considerado mais adequado, diante dos dados disponíveis, o método curva número do *Soil Conservation Service*

O método Curva Número é um procedimento desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo USDA, no qual a lâmina escoada (isto é, a altura de chuva efetiva) é uma função da altura total de chuva e um parâmetro de abstração denominado Curva-Número,  $CN$ . Este coeficiente varia de 1 a 100, sendo uma função das seguintes propriedades geradoras de escoamento na bacia: (1) tipo de solo hidrológico, (2) uso do

solo e tratamento, (3) condição da superfície subterrânea, e (4) condição de umidade antecedente

A equação de escoamento do SCS é dada por

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (1)$$

onde  $Q$  = escoamento

$P$  = precipitação

$S$  = capacidade máxima de armazenamento do solo

$I_a$  = perdas antes do início do escoamento

As perdas antes do início do escoamento ( $I_a$ ) incluem água retida em depressões superficiais, água interceptada pela vegetação, evaporação, e infiltração.  $I_a$  é altamente variado, mas a partir de dados de pequenas bacias  $I_a$  é aproximado pela seguinte relação empírica

$$I_a = 0,20 S \quad (2)$$

Substituindo (2) em (1) elimina-se  $I_a$ , resultando em:

$$Q = \frac{(P - 0,20 S)^2}{P + 0,80 S}$$

onde  $S$  está relacionado às condições de solo e cobertura através do parâmetro CN por

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{unidades métricas})$$

onde CN varia de 0 a 100. CN foi tabelado para diferentes tipos de solos e cobertura, sendo estes valores tabelados apresentados para condições de umidade antecedente normal (AMC II). Para condições secas (AMC I) e úmidas (AMC III), CNs equivalentes podem ser calculados pelas seguintes fórmulas.

**CONDIÇÕES SECAS**

$$CN (I) = \frac{4,2 CN(II)}{10 - 0,058 CN(II)}$$

**CONDIÇÕES ÚMIDAS**

$$CN (III) = \frac{2,3 CN(II)}{10 + 0,13 CN(II)}$$

Alternativamente, os CNs para estas condições podem ser obtidos, a partir da condição normal (AMC II), utilizando-se tabelas<sup>6</sup>

Como já mencionado, o CN foi tabelado para diferentes tipos de solos, os quais foram classificados pelo SCS em quatro grupos de solos hidrológicos (A, B, C e D) de acordo com sua taxa de infiltração. Estes quatro grupos são descritos a seguir

- A - solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração solos arenosos profundos com pouco silte e argilla
- B - solos menos permeáveis que o anterior, solos arenosos menos profundo que o do tipo a e com permeabilidade superior à média.
- C - solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo
- D - solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muita baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial

Desde que o método do SCS dá o excesso total para uma tormenta, o excesso incremental de precipitação para um período de tempo é calculado como a diferença entre o excesso acumulado no fim do presente período e o acumulado do período anterior

Para a bacia do Gangorra foi estimado um CN = 78 com base nos tipos e usos dos solos, sendo adotado um CN = 80 (AMC II). A área apresenta uma

---

<sup>6</sup> PONCE, V.M., 1989. ENGINEERING HYDROLOGY. PRINCIPLES AND PRACTICES. PRENTICE HALL, NEW JERSEY, 640 p.

predominância de solos podzólicos (60,9%), seguidos pelos latossolos (28,4%) e de solos aluviais (10,7%) Especificamente, são as seguintes as unidades de mapeamento

- Lvd Solos latossolos Vermelho-Amarelo distrófico, A fraco textura média,
- PV Solos Podzólicos Vermelho-Amarelo distrófico profundo Ta plíntico A fraco textura arenosa/média e Podzólico Vermelho-Amarelo pouco profundo Ta plíntico A fraco textura arenosa/média cascalhenta,
- Ae Solos aluviais eutróficos A fraco textura arenosa/média.

### 5 1 3 - Hidrograma Unitário - SCS

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia Este método foi escolhido por ter sido idealizado para bacias de áreas entre 2,5 e 1000 km<sup>2</sup>, e por ser construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas Além disto, este modelo necessita apenas de um parâmetro: o  $T_{LAG}$  Este parâmetro,  $T_{LAG}$ , é igual à distância (*lag*) entre o centro de massa do excesso de chuva e o pico do hidrograma unitário. A vazão de pico e o tempo de pico são calculados por:

$$Q_p = 208 \frac{A}{t_p} \quad t_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{LAG}$$

onde  $Q_p$  = é a vazão de pico (m<sup>3</sup>/s),  $t_p$  = tempo de pico do hidrograma (h),  
 $A$  = área da bacia em km<sup>2</sup> e  $\Delta t$  = o intervalo de cálculo

Uma vez determinados estes parâmetros e o intervalo de cálculo (duração do hidrograma unitário), o HEC-1 utiliza estes para interpolar um hidrograma unitário a partir de um hidrograma unitário adimensional do SCS. A seleção do intervalo de cálculo é baseado na relação  $\Delta t = 0,20 t_p$ , não devendo exceder  $0,25 t_p$  Estas relações baseiam-se nas seguintes relações empíricas

$$t_{lag} = 0,60 T_c \quad e \quad 1,7 t_p = \Delta t + T_c$$

onde  $T_c =$  é o tempo de concentração da bacia O HEC-1 sugere que  $Dt \leq 0,29 T_{LAG}$  Para cálculo do hidrograma de projeto por esta metodologia, é necessário uma estimativa do tempo de concentração da bacia Estes tempos de concentração foram avaliados através da aplicação da fórmula de Kirpich (item 5.1 1)

## 5.2 - RESULTADOS

A adoção de cheias de projeto da magnitude da cheia máxima provável não se justifica para o reservatório em estudo, por suas localizações, capacidades e finalidades Assim, dentro desta perspectiva, optou-se por utilizar a cheia associada ao hietograma de 1000 anos e verificar para o hietograma de 10000 anos

Apesar do tempo de concentração ser de 6 horas, verificou-se que existia ainda uma forte influência da duração da chuva sobre o hidrograma efluente, sendo adotado portanto uma chuva de duração igual a 24 horas, como será visto no capítulo 7 Os hidrogramas afluentes para os tempos de retorno 1 000 e 10 000 anos encontram-se apresentados nas figuras 5 1 e 5 2, respectivamente Os picos dos hidrogramas afluentes ao açude Gangorra associados a 1 000 e 10 000 anos são respectivamente 526,48 m<sup>3</sup>/s e 651,15 m<sup>3</sup>/s.

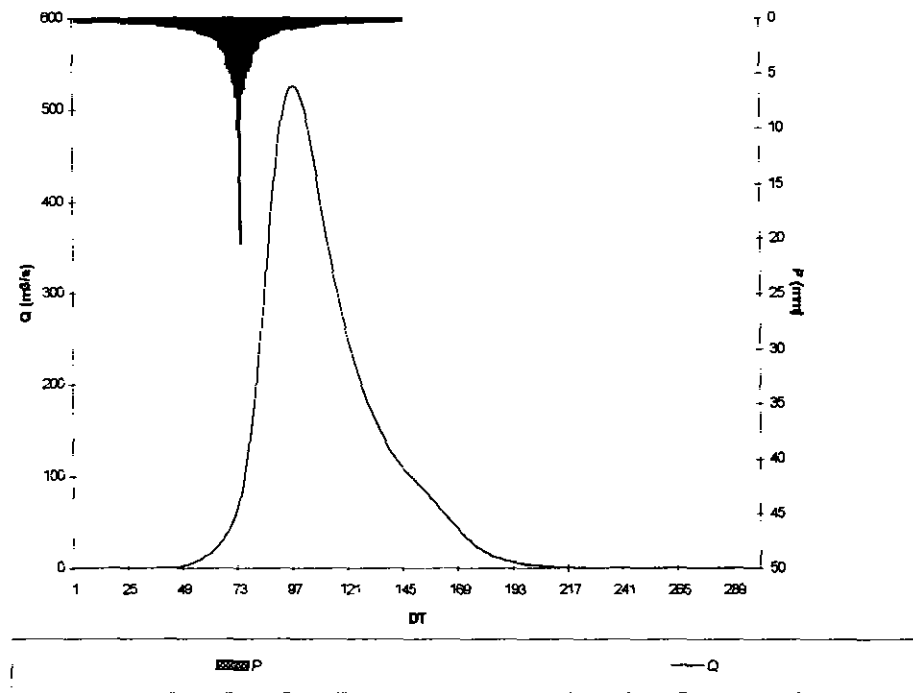


Figura 5.1 - Hidrograma Afluente associado ao tempo de retorno 1 000 anos  
Açude Gangorra

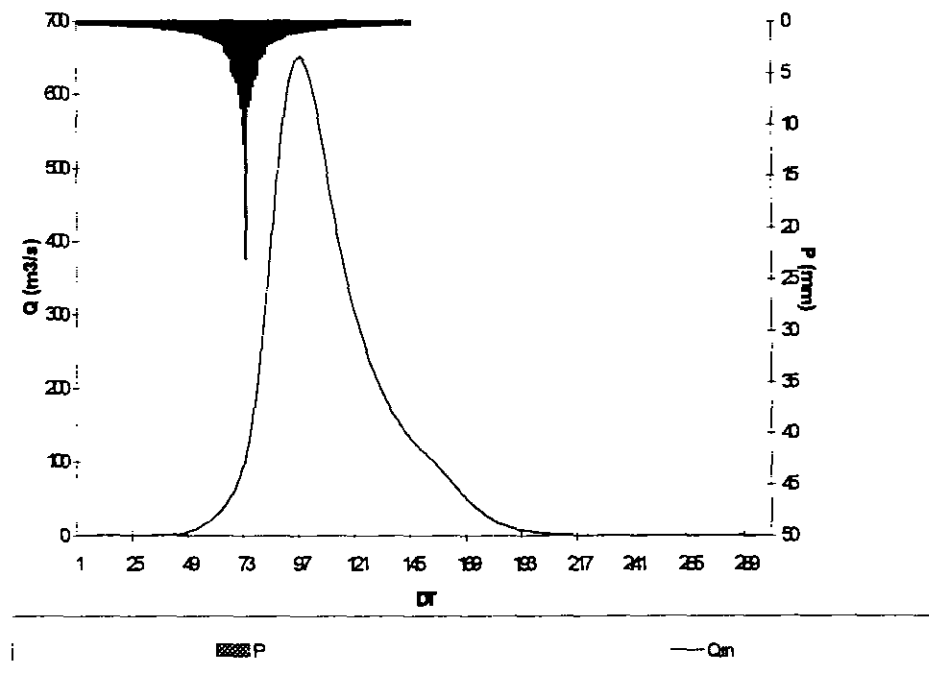


Figura 5.2 - Hidrograma Afluente associado ao tempo de retorno 10 000 anos  
Açude Gangorra

1

## 6 - DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

---

## 6 - DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

### 6.1 - INTRODUÇÃO

A importância do estudo da capacidade de regularização de um reservatório está ligada ao conhecimento das mudanças temporais e espaciais dos deflúvios naturais, visando o atendimento das demandas da sociedade. Busca-se aqui avaliar o tamanho que deve ser a obra de maneira que ganhos em regularização de águas justifique os investimentos a serem realizados.

Hidrologicamente, os objetivos centrais deste capítulo são

- 1 análise incremental do ganho em volume regularizado em relação ao aumento da capacidade para a Barragem Gangorra;
- 2 estimativa das perdas por evaporação e sangria da Barragem Gangorra

O traçado das curvas de regulação, inclui volumes evaporado (E), liberado (M) e sangrado (S) versus capacidade (K) e  $dM/dK$  versus K

### 6.2 - METODOLOGIA

Na determinação das curvas de regulação do reservatório foi utilizado dois métodos, a saber

- HEC-3,
- solução direta da equação de balanço hídrico<sup>3</sup>,
- Diagrama Triangular de Regularização<sup>7</sup>

#### 6.2.1 - Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico

A equação do balanço hídrico de um reservatório pode ser dada por

---

<sup>7</sup> CAMPOS, J N B 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMI-TENTES. TESE PARA CONCURSO DE PROF. TITULAR UFC



$$Z_{t+1} = Z_t + I_t - \frac{A_{t+1} + A_t}{2} E - M - S_t$$

com

$$S_t = \max(B - K, 0)$$

$$B = Z_t + I_t - \frac{A_{t+1} + A_t}{2} E - M$$

onde

$Z_t$  = volume armazenado no início do ano  $t$ ,

$I_t$  = volume afluente ao reservatório durante o ano  $t$ ,

$A_t$  = área do espelho d'água no início do ano  $t$ ,

$E$  = lâmina evaporada durante o ano  $t$ , suposta constante ao longo dos anos,

$K$  = capacidade do reservatório,

$S_t$  = volume perdido por sangria durante o ano  $t$

Representando-se a bacia hidrográfica por

$$Z(h) = \alpha h^3 \quad \text{e} \quad A(h) = 3 \alpha h^2,$$

$h$  - altura d'água a fator de forma (obtido por regressão entre  $z$  e  $h^3$ )

Supondo um modelo mutuamente exclusivo com volume contínuo e uma série de vazões afluentes com uma extensão de 2000 anos seguindo uma distribuição Gamma de 2 parâmetros, pode-se resolver a equação de balanço hídrico segundo o processo descrito por CAMPOS (1990)<sup>8</sup>, a saber:

- 1 Estabelece-se um valor inicial para a retirada  $M$ ;
- 2 considera-se um volume inicial igual  $\text{MIN}(0,5 K, 0,5.m)$ ;
- 3 Calcula-se

---

<sup>8</sup> CAMPOS, J N B 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMI-TENTES TESE PARA CONCURSO DE PROF TITULAR UFC

$$Z_U = Z_t + I_t \quad p/ Z_t + I_t \leq K$$

$$Z_U = K \quad \text{caso contrário}$$

$$D_S = \text{MAX}(Z_t + I_t - K, 0)$$

onde  $Z_U$  é o volume armazenado no final da estação e  $D_S$  o volume sangrado no ano t

4 Calcula-se o volume no fim da estação seca (início do próximo ano) por

a) divide-se M e E em L partes (no caso L=6);

b) retrada da reserva, se disponível, de M/L

#### ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

$$Z_2 = Z_1 - M / L \quad \text{se } Z_1 - M / L > Z_{MIN}$$

$$Z_2 = Z_{MIN} \quad \text{caso contrário (ANO FALHO)}$$

$$Z_{MIN} = \text{MAX}(0,05 K, 0,20 \mu)$$

#### VOLUME UTILIZADO

$$D_M = Z_1 - Z_2$$

1

#### ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

$$h_2 = \left( Z_2 / \alpha \right)^{1/3}$$

c) retirada da reserva, se disponível, de E/L

#### ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

$$h_3 = h_2 - E / L \quad \text{se } h_2 - E / L \geq 0$$

$$h_3 = 0 \quad \text{caso contrário}$$

### ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

$$Z_3 = \alpha h_3^3$$

### VOLUME UTILIZADO

$$D_E = Z_3 - Z_2$$

d) retorna-se a b) até completar as L fases da integração.

5 Prossegue-se com os passos 3 e 4 até que se complete os 2000 anos da série gerada, totalizando os volumes evaporado, sangrado e liberado,

6 Concluído os 2000 anos, verifica-se se a frequência de falha está entre 9,95 e 10,05 %, ou se o erro em retirada é menor do que 0,5 unidades. Caso afirmativo aceita-se o valor de M, caso contrário atribui-se novo valor de M e retorna-se a 1

### 6.2.2 - O Diagrama Triangular de Regularização

O método do Diagrama Triangular baseia-se no balanço de massas de um reservatório para um período longo.

$$\sum I = \sum M + \sum S + \sum E + Z$$

onde  $\sum I$ ,  $\sum M$ ,  $\sum S$ ,  $\sum E$  representam as somas dos volumes afluente, retirado, sangrado e evaporado, enquanto Z representa a diferença entre os volumes final e inicial do reservatório. Dividindo-se a equação de balanço de massas acima por N, N suficientemente grande, obtém-se

$$m = E \{M\} + E \{S\} + E \{E\}$$

onde E {.} representa o operador valor esperado e m o deflúvio afluente médio. Pela última equação verifica-se que o volume afluente divide-se em três componentes, o que sugere o uso do Diagrama Triangular para estabelecer como esta divisão se processa em

função dos parâmetros estatísticos dos deflúvios e das características do reservatório (CAMPOS, 1990)<sup>9</sup>

### 6.3 - RESULTADOS

As características do escoamento estabelecidas no estudo de deflúvios pelo uso do MODHAC, foram utilizadas aqui para a geração de séries sintéticas de vazão, a saber

- lâmina média escoada 243,8 mm
- volume afluente médio escoado (m) 25,6 hm<sup>3</sup>
- coeficiente de variação (CV) 1,16

No caso do coeficiente de variação foi adotado o valor de 1,2

Para aplicação dos dois métodos faz-se necessário a determinação do fator de forma  $a$ , lâmina evaporada e fator adimensional de evaporação e capacidade. No caso do fator adimensional de capacidade, este é variável uma vez que pretende-se analisar o ganho na regularização em função do aumento da capacidade. Assim,

$$a = 13546,6$$

$$E = 109 + 123 + 147 + 164 + 170 + 163 + 161 \quad \text{Hargreaves}$$

$$E = 1037 \text{ mm}$$

$$f_E = \frac{3 \alpha^{1/3} E}{\mu^{1/3}}$$

$$f_E = 0,25$$

---

<sup>9</sup> CAMPOS, J N B 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMI-TENTES. TESE PARA CONCURSO DE PROF TITULAR UFC

Com base nestes valores utilizou-se a solução direta da equação do balanço hídrico para o estudo incremental de capacidades do acude Gangorra. No Quadro 6 1 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de  $f_k$ . A figura 6 1 apresenta as curvas de regulação para o reservatório, que nada mais é que a representação gráfica dos valores apresentados no Quadro 6 1

Quadro 6 1 - Estudo incremental de capacidades do acude Gangorra  
90% de Garantia (CAMPOS, 1990)<sup>10</sup>

Cota (m)	K (hm <sup>3</sup> )	fk K/m	%LIB	LIB hm <sup>3</sup> /ano	%EV	EV hm <sup>3</sup> /ano	%SG	SG hm <sup>3</sup> /ano	dM/dK	Q90 m <sup>3</sup> /s
35	24,40	0,95	23,10	5,560	17,50	4,205	59,40	14,298		0,185
36	30,80	1,20	27,00	6,497	20,20	4,871	52,80	12,693	0,146	0,217
37	38,00	1,49	31,10	7,483	22,90	5,513	46,00	11,070	0,137	0,250
38	46,10	1,80	34,30	8,261	25,80	6,200	39,90	9,604	0,096	0,276
39	55,10	2,15	37,00	8,905	28,70	6,903	34,30	8,255	0,072	0,298
40	65,00	2,54	39,80	9,570	31,50	7,576	28,80	6,924	0,067	0,321

LIB - VOLUME LIBERADO  
SG - VOLUME SANGRADO  
EV - VOLUME EVAPORADO

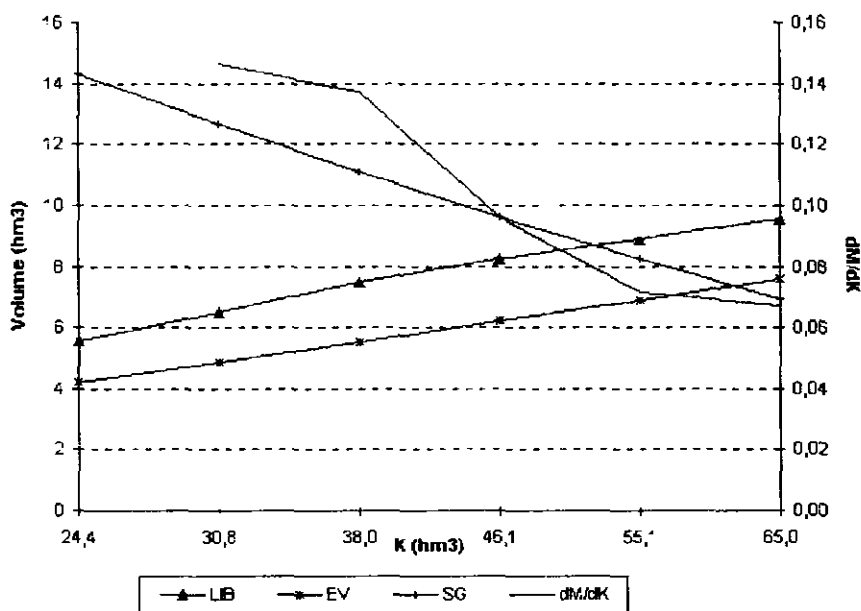


Figura 6.1 - Curvas de Regulação do Reservatório Gangorra

<sup>10</sup> CAMPOS, J N B 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMI-TENTES TESE PARA CONCURSO DE PROF TITULAR UFC

Utilizando-se o método do Diagrama Triangular de Regularização com  $f_E = 0,25$ ,  $f_K = 1,80$  e  $CV = 1,20$ , obtem-se um volume de  $9,216 \text{ hm}^3$  regularizado anualmente, ou em termos de vazão,  $Q_{90} = 0,292 \text{ m}^3/\text{s}$ . Este valor está bem próximo ao valor obtido pela solução direta da equação do balanço hídrico (Quadro 6.1). A figura 6.2 apresenta o Diagrama Triangular ( $CV = 1,20$ ) e nele o caso da Barragem Gangorra

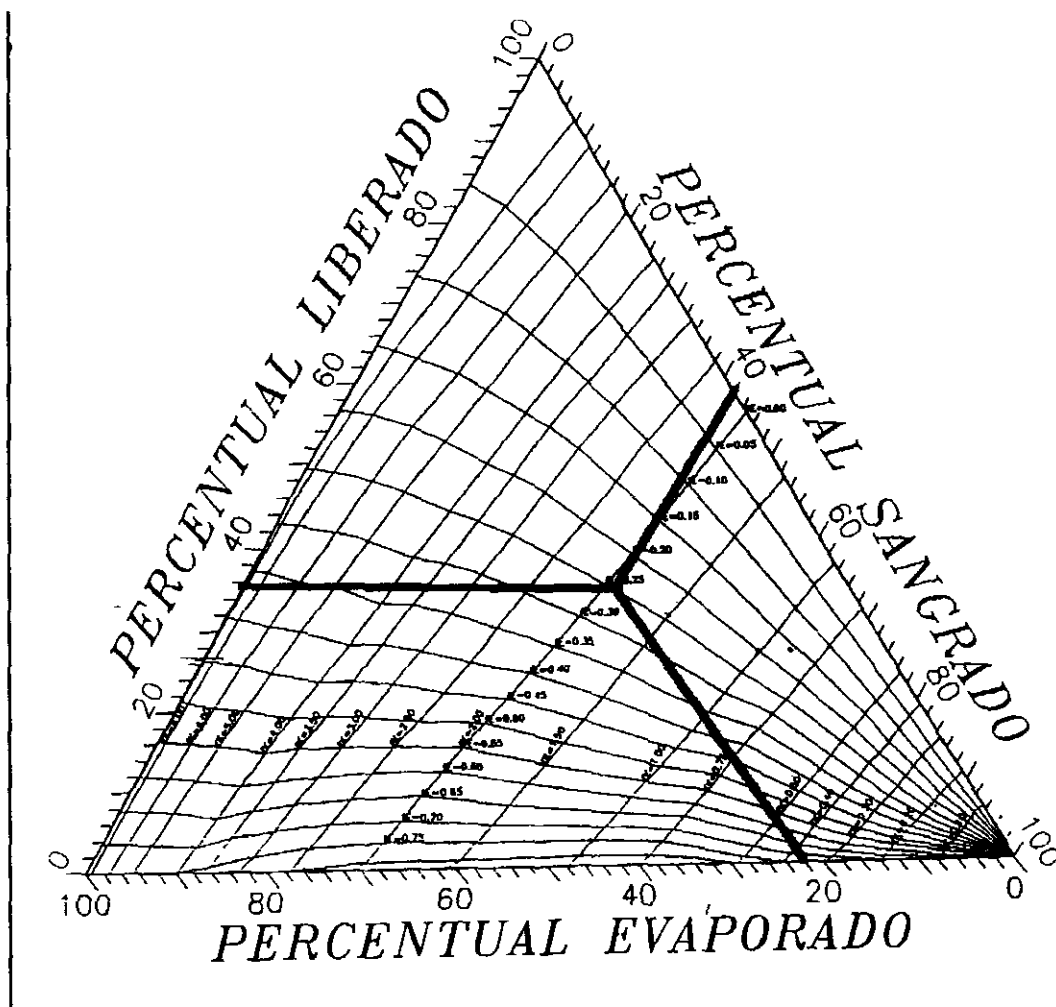


Figura 6.2 - Diagrama Triangular de Regularização para  $CV = 1,20$  Açude Gangorra

Alternativamente aos dois métodos acima, foi utilizada a série gerada pelo MODHAC para obtenção da vazão regularizada com 90% de garantia a partir do uso do HEC-3. Os resultados destas simulações estão sumarizados no Quadro 6.2 abaixo. Os resultados obtidos para a garantia de 90% são próximos aos obtidos pela solução direta do balanço hídrico.

Quadro 6.2 - Estudo incremental de capacidades do Reservatório Gangorra (HEC3)

90% de Garantia

Cota (m)	K (hm <sup>3</sup> )	fk = K/m	LIB hm <sup>3</sup> /ano	EV hm <sup>3</sup> /ano	SG hm <sup>3</sup> /ano	Q90 m <sup>3</sup> /s
35	24,4	0,95	6,938	3,122	15,453	0,232
36	30,8	1,20	7,884	3,442	14,191	0,261
37	38,0	1,49	8,830	3,766	12,930	0,292
<b>38</b>	<b>46,1</b>	<b>1,80</b>	<b>9,461</b>	<b>4,164</b>	<b>11,668</b>	<b>0,312</b>
39	55,1	2,15	10,092	4,522	10,722	0,336
40	65,0	2,54	10,722	4,780	9,776	0,364

Q90 - VAZÃO REGULARIZADA COM 90% DE GARANTIA

LIB - VOLUME LIBERADO

SG - VOLUME SANGRADO

EV - VOLUME EVAPORADO

A determinação do tamanho do reservatório não foi realizada unicamente com base na eficiência hidrológica do barramento, mas também tendo como base o custo da obra. Assim, para este dimensionamento hidrológico econômico da capacidade do acude a se projetado foi realizado o pré-dimensionamento do sangradouro para diversas cotas de sangria e larguras, simulando a laminação da cheia de 1 000 anos.

Para as diversas cotas determinou-se a melhor opção de largura do sangradouro e seu respectivo custo, tendo-se assim associado a cada cota um custo correspondente da obra. A partir deste par (cota, custo) foi determinada a curva de custo do m<sup>3</sup> regularizado associado a 90% de garantia. O Quadro 6.3 abaixo apresenta o sumário da análise de custo para a garantia de 90%, enquanto que a figura 6.3 mostra a respectiva curva custo/volume regularizado com 90% de garantia.

em função da Cota a ser adotada. Para esta garantia tem-se que o custo do barramento por volume regularizado para as cotas 38 e 40 m são semelhantes.

Os resultados da análise hidrológica juntamente com a análise de custo do barramento por volume regularizado anualmente (90% de garantia) sugerem como cota de soleira do sangradouro a cota 38 m, correspondente ao volume 46,1 hm<sup>3</sup>.

Quadro 6.3 - Custo do barramento por volume regularizado 90% de garantia

COTA	Qr 90%	CUSTO (M R\$)	CUSTO/VR 90
35	0,232	1872	255,87
36	0,261	1953	237,28
37	0,292	2050	222,62
38	0,312	2160	219,53
39	0,336	2353	222,06
40	0,364	2520	219,53

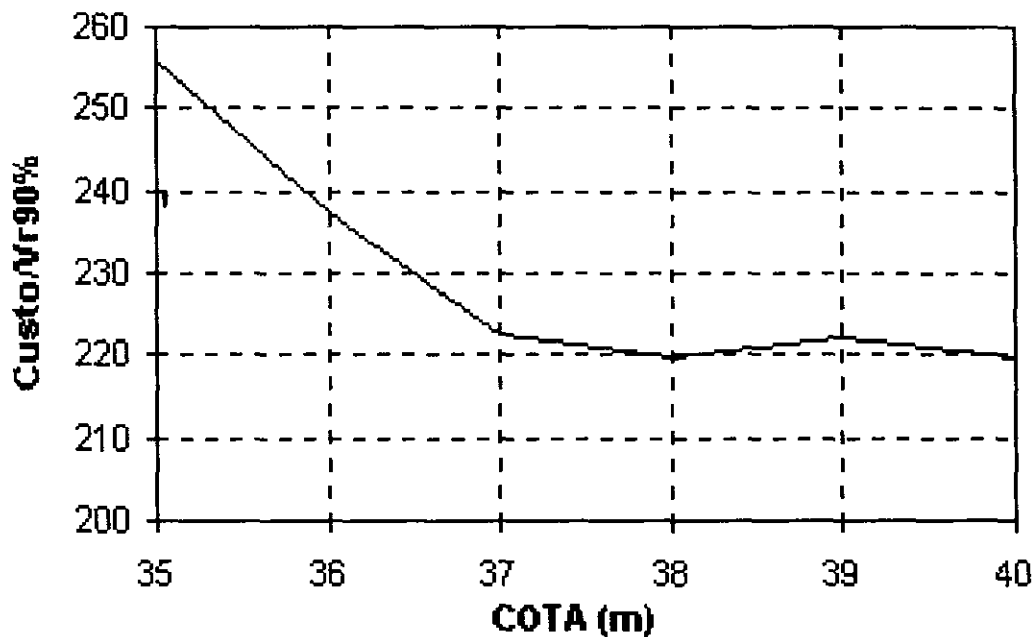


Figura 6.3 - Custo do barramento por volume regularizado 90% de garantia.



,

## 7 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO

---

## 7 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO

Uma vez realizado o dimensionamento do reservatório com base nos estudos hidrológicos e econômicos do capítulo anterior, faz-se necessário agora o dimensionamento do sangradouro visando definição de sua largura, seu tipo e a cota de coroamento da barragem associada à alternativa adotada

No dimensionamento do sangradouro foi adotada a cheia associada ao tempo de retorno de 1 000 anos, realizando-se para esta os estudos de laminação, e determinada a cota de coroamento da barragem com base na cheia associada a 10 000 anos, para garantir o não galgamento nesta cheia

Dentre destes princípios, apresenta-se neste capítulo o dimensionamento do sangradouro

### 7.1 - PROPAGAÇÃO DA CHEIA NO RESERVATÓRIO

Técnicas de propagação em reservatórios são baseadas no conceito de armazenamento, sendo o método de Puls um dos mais conhecidos para propagação em reservatórios. Este método consiste em uma expressão discretizada da equação de continuidade concentrada e na relação entre vazão e armazenamento

A equação discretizada da continuidade é dada por

$$\frac{S_{t+1} - S_t}{\Delta t} = \frac{I_t + I_{t+1}}{2} - \frac{Q_t + Q_{t+1}}{2} \quad (1)$$

onde  $I_t$  e  $I_{t+1}$  = vazões afluentes ao reservatório em  $t$  e  $t+1$ ,  $Q_t$  e  $Q_{t+1}$  = vazões de saída ao reservatório em  $t$  e  $t+1$ ;  $S_t$  e  $S_{t+1}$  = armazenamento em  $t$  e  $t+1$ ,  $\Delta t$  = intervalo de tempo. As incógnitas  $Q_{t+1}$  e  $S_{t+1}$  podem ser colocadas em um mesmo lado, resultando em

$$Q_{t+1} + 2 \frac{S_{t+1}}{\Delta t} = I_t + I_{t+1} - Q_t + 2 \frac{S_t}{\Delta t} \quad (2)$$

Conhecendo-se a função  $Q = f(S)$ , constrói-se uma função  $Q = h(Q + 2S/\Delta t)$  resultando no seguinte processo de cálculo:

- 1 determinação do volume inicial  $S_0$  (conforme objetivo do estudo), e a partir deste, determina-se  $Q_0$ ,
- 2 calcular o termo direito da equação 2, uma vez que o hidrograma de entrada foi determinado pelo método do hidrograma unitário do SCS,
- 3 com este valor  $(Q_{t+1} + 2 S_{t+1}/ Dt)$  é possível obter  $Q_{t+1}$  através de  $Q = h(Q + 2S/Dt)$  e  $S_{t+1}$  através de  $S_{t+1} = f^{-1}(Q_{t+1})$ ,
- 4 repete-se 2 e 3 para todos intervalos de cálculo

Para determinar a curva que relaciona vazão e armazenamento faz-se uso de duas funções

$$Z = a S^b \quad \text{e} \quad Q = C L (Z - Z_w)^{3/2}$$

onde  $Z$  = cota (m),  $S$  = armazenamento ( $m^3$ ),  $Q$  = vazão ( $m^3/s$ ),  $C$  = coeficiente de descarga,  $L$  = largura do sangradouro (m),  $Z_w$  = cota da soleira do sangradouro e  $a$ ,  $b$  são coeficientes obtidos por regressão. A relação lâmina x vazão de saída do sangradouro foi determinada pelo *Step method*, considerando-se um sangradouro escavado em rocha com comprimento de 120 m, declividade 0,0 m/m um Manning de 0,040 (canais em rochas escavadas por explosivos). Esta relação Vazão lâmina está apresentada no Quadro 7.1 abaixo, onde se verifica os pares  $Q$  e  $(Z - Z_w)$ . A partir destes valores foi efetuada uma regressão entre  $Q/L$  (vazão por unidade de largura de sangradouro) e a altura da lâmina elevada a 1,5, obtendo-se o coeficiente de descarga  $C = 1,444$ . Assim, a equação para o sangradouro escavado em rocha ficou

$$Q = 1,444 L (Z - Z_w)^{1,5}$$

Quadro 7 1 - Relação Vazão x Altura para a opção do Gangorra-sangradouro escavado em rocha  $S_o = 0$  (Declividade)

Q (m <sup>3</sup> /s)	Lâmina (m)
20	0,72
30	0,88
40	1,02
50	1,14
60	1,25
70	1,35
80	1,44
90	1,53
100	1,62
110	1,69
120	1,77

## 7 2 - RESULTADOS

Uma vez escolhida a dimensão do acude, ou seja cota 38 para sangria, elaborou-se os estudos de laminação para a cheia de 1 000 anos, para dimensionamento do sangradouro, e para a cheia de 10 000 anos, visando garantir que a barragem não seja galgada nesta cheia, servindo assim para a definição da cota de coroamento da barragem. Como mencionado anteriormente, foi verificada uma forte influência na magnitude da vazão de pico efluente em função da duração da chuva (ver figura 7 1). Assim, foi adotada nos estudos de cheia hietogramas de projeto com duração de 24 horas.

Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro 7 2 para várias alternativas da barragem, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1 000 anos. A figura 7 2 abaixo mostra para o tempo de retorno  $T_r=1000$  anos, o hietograma de projeto e os hidrogramas de entrada e saída ao reservatório Gangorra.

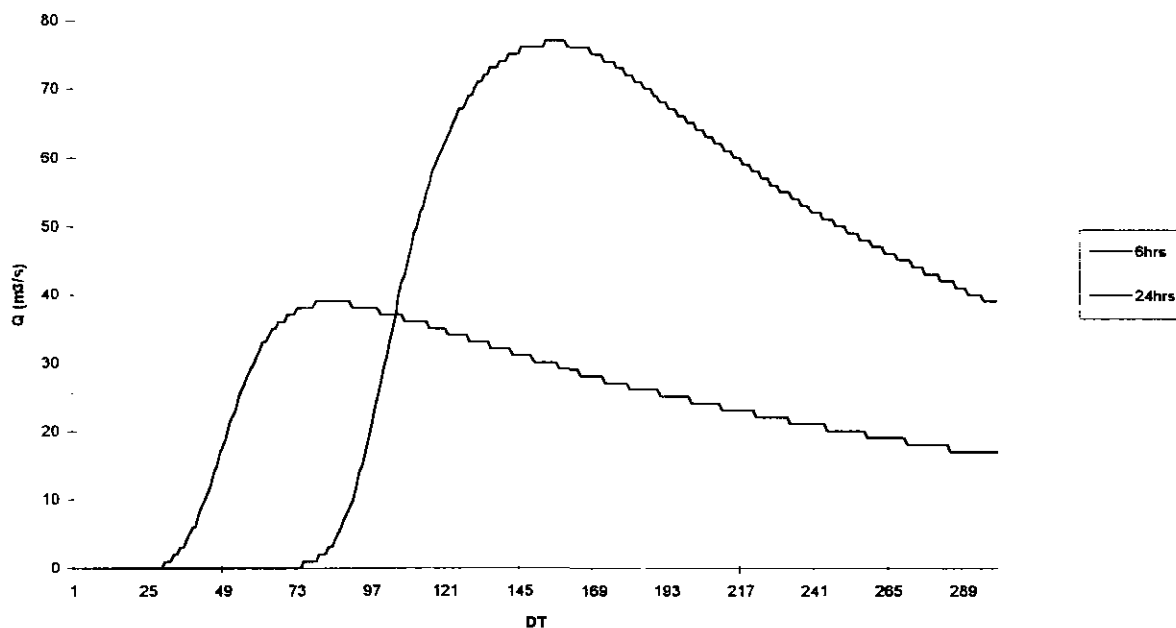


Figura 7.1 - Comparação dos Hidrogramas Efluentes associados a 1 000 anos com duração de 6 e 24 hrs ( $Q_{\text{máx}} 6 \text{ hrs} = 38,73 \text{ m}^3/\text{s}$  ,  $Q_{\text{máx}} 24 \text{ hrs} = 76,60 \text{ m}^3/\text{s}$ )

Quadro 7.2 - Resultado da simulação acima descrita para as opções de Sangradouro escavado em rocha e em perfil Creager ( $Q_{\text{in}} = 526,48 \text{ m}^3/\text{s}$ )  $T_r = 1000$  anos para várias capacidades do Reservatório Gangorra e larguras de sangradouro.

L (m)	$Q_{\text{out}}$ (m <sup>3</sup> /s)	Cota (m)	Lâmina (m)
<b>Escavado em rocha : <math>Z_w = 35 \text{ m}</math></b>			
30	92,64	36,66	1,66
40	113,90	36,57	1,57
50	132,64	36,50	1,50
60	150,28	36,44	1,44
<b>Escavado em rocha : <math>Z_w = 36 \text{ m}</math></b>			
30	77,76	37,47	1,47
40	95,79	37,40	1,40
50	111,75	37,33	1,33
60	126,06	37,28	1,28
<b>Escavado em rocha . <math>Z_w = 37 \text{ m}</math></b>			
30	72,03	38,40	1,40
40	89,59	38,34	1,34
50	105,33	38,28	1,28
60	119,66	38,24	1,24

Escavado em rocha . $Z_w = 38$ m			
30	61,51	39,26	1,26
<b>40</b>	<b>76,60</b>	<b>39,20</b>	<b>1,20</b>
50	90,00	39,16	1,16
60	102,16	39,12	1,12
Perfil Creager : $Z_w = 39$ m			
30	76,93	40,14	1,14
40	96,15	40,09	1,09
50	113,67	40,05	1,05
60	130,06	40,02	1,02
Perfil Creager . $Z_w = 40$ m			
30	56,14	40,93	0,93
40	70,15	40,89	0,89
50	82,86	40,85	0,85
60	94,42	40,82	0,82

$L$  = Largura do Sangradouro  
 $Q_{in}$  = Vazão afluente ao reservatório  
 $Q_{out}$  = Vazão de saída (sangradouro)  
 $Z_w$  = cota da soleira do sangradouro

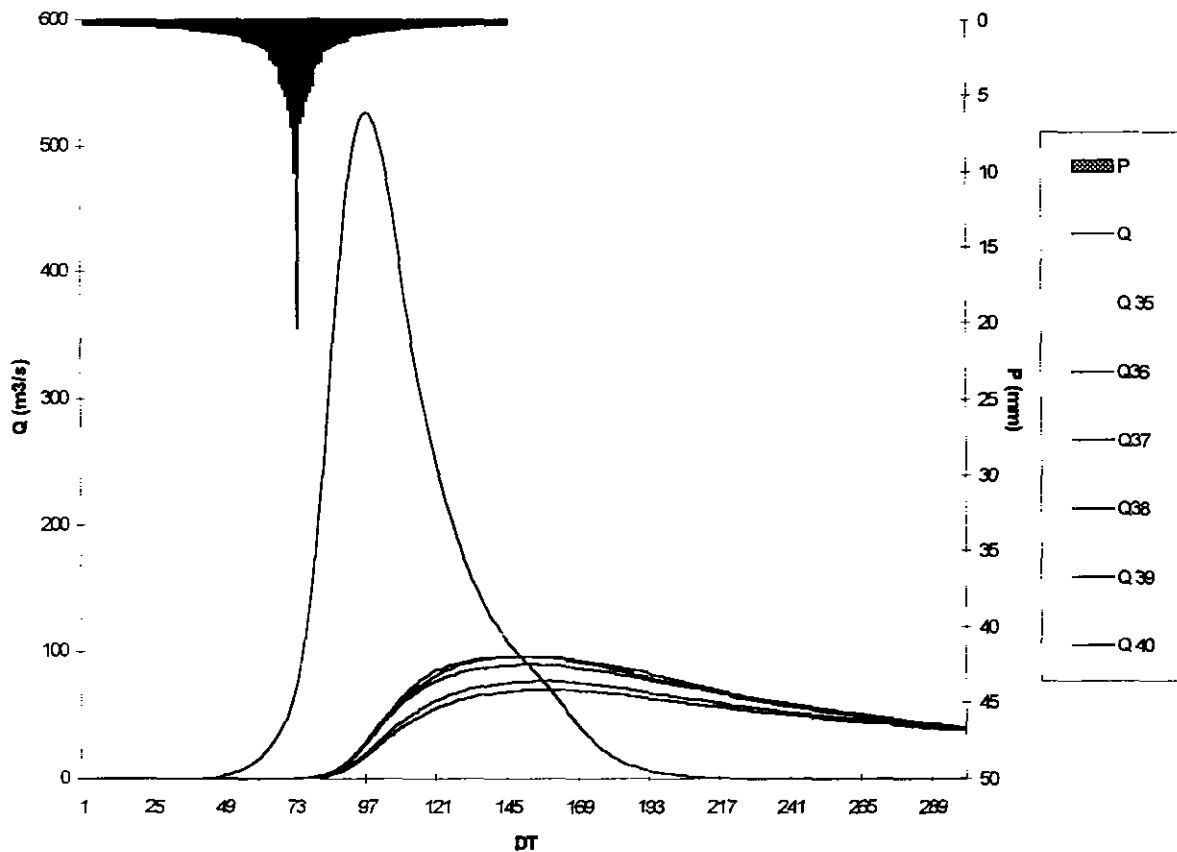


Figura 7.2 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Congorra ( $T_r = 1.000$  anos) Largura do Sangradouro, 40 m - Cotas 35 a 40 m

Após uma análise de custo, apresentada no capítulo seguinte, e das restrições topográficas locais decidiu-se que a melhor dimensão para a Barragem Gangorra seria na cota 38,0 m e com um sangradouro escavado em rocha de 40 m de largura. Uma vez escolhida, a partir do hietograma de projeto de 1000 anos, a concepção básica do projeto, rodou-se novamente o modelo HEC-1 para o hietograma de 10 000 anos, obtendo-se para os hidrogramas de entrada e saída associados respectivamente os valores de pico 651,15 m<sup>3</sup>/s e 102,86 m<sup>3</sup>/s. A lâmina máxima de sangria desta cheia corresponde à cota de 39,47 m (lâmina = 1,47 m). A figura 7.3 abaixo apresenta os hidrogramas de entrada e saída associados ao tempo de retorno de 10 000 anos (Cota da soleira do Sangradouro = 38,00 m e Largura do Sangradouro = 40 m).

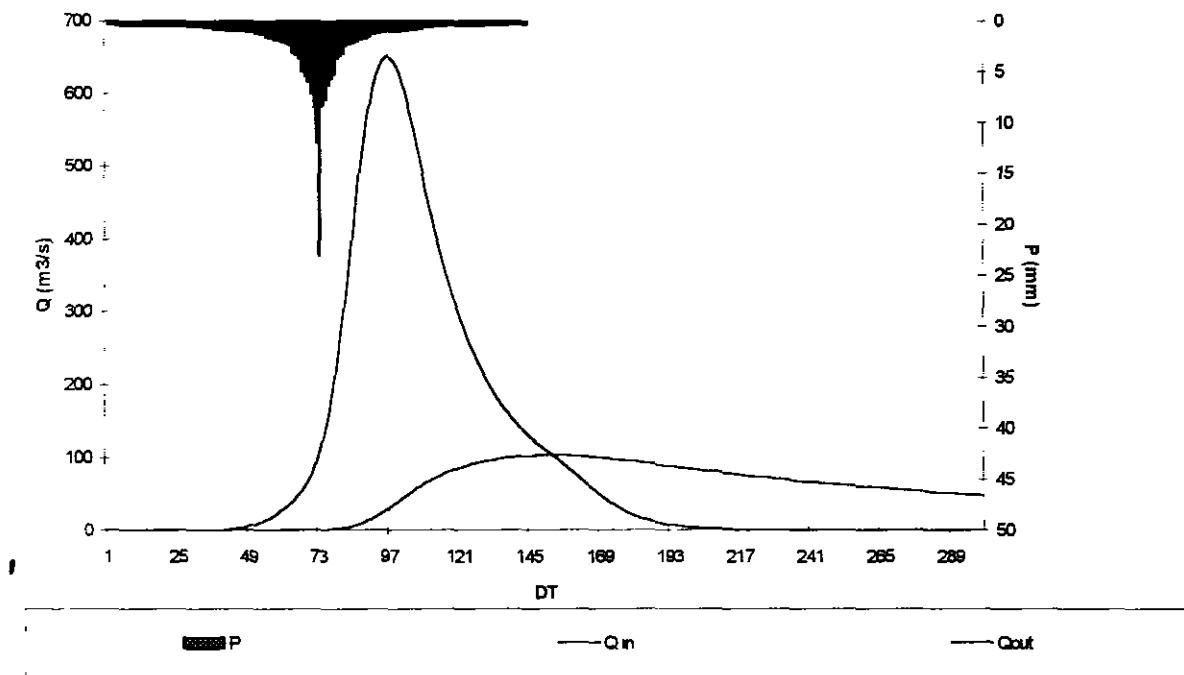


Figura 7.3 - Hidrogramas de Entrada e de Saída do Reservatório Gangorra (Tr = 10 000)

1

## 8 - ESTUDOS ADICIONAIS

---



## 8 - ESTUDOS ADICIONAIS

### 8.1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta estudos adicionais visando fornecer características do reservatório durante a fase de operação, sendo estudado

- a probabilidade de enchimento do reservatório na fase transiente,
- a probabilidade de esvaziamento do reservatório na fase de equilíbrio,
- a probabilidade de extravazamento do reservatório na fase de equilíbrio,
- a curva de esvaziamento do reservatório

### 8.2 - ESTUDO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

O estudo da disponibilidade hídrica do reservatório Gangorra compreende o estudo das probabilidades de enchimento, esvaziamento e extravazamento do reservatório. Este estudo pode ser realizado diante duas óticas: na fase transiente, quando essa probabilidade depende do volume inicial do reservatório, na fase de equilíbrio, quando o processo estocástico de armazenamento torna-se ergódico. A metodologia aqui empregada tem suporte teórico na teoria estocástica de reservatórios ou Teoria de Moran<sup>11</sup>, apresentando como novidade a inclusão da matriz de evaporação para considerar as perdas por este processo - método de CAMPOS (1990).

As etapas de cálculo destas probabilidades para um reservatório de uma determinada capacidade e retirada são descritas a seguir:

1. dividir o volume total do reservatório  $K$ , por 20, definindo 21 estados que podem ser atingidos pela reserva. A representação gráfica do espaço de definição destes estados de reserva é apresentada na figura 8.1 e no Quadro 8.1.

---

<sup>11</sup> MORAN, P. A. P. 1959. THE THEORY OF STORAGE. LONDON: METHUEN & CO. LTD., 111 p.

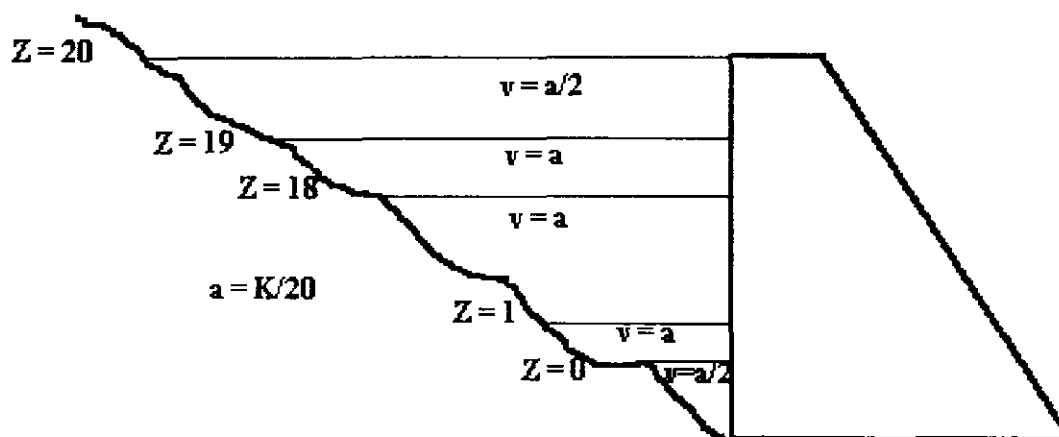


Figura 8 1 - Espaço de definição dos estados de reserva

Quadro 8 1 - Limite, em volume, dos estados de reserva

NÚMERO DO ESTADO (z)	LIMITES DE ARMAZENAMENTO	ARMAZENAMENTO NO ESTADO (2)
0	$0 < z \leq (1/2) a$	$z = \text{seco}$
1	$(1/2) a < z \leq (3/2) a$	$z = a$
2	$(3/2) a < z \leq (5/2) a$	$z = 2 a$
n-1	$(n-3/2) a < z \leq (n-1/2) a$	$z = (n-1) a$
n	$(n-1/2) a < z \leq K$	$z = \text{cheio}$

- 2 Calcular a matriz de transição de probabilidades devido aos deflúvios anuais [W]  
Supõe-se que os deflúvios seguem uma distribuição Gamma de dois parâmetros na estação úmida e com uma massa de probabilidades para a estação seca
- 3 Calcular a matriz de transição de probabilidades devido à metade da evaporação (E), supondo que a relação cota x área x volume é determinada por

$$Z(h) = \alpha h^3 \quad \text{e} \quad A(h) = 3.\alpha h^2,$$

onde h - altura do espelho d'água, a - fator de forma (obtido por regressão entre z e h<sup>3</sup>), A - área do espelho d'água a altura h e V - volume acumulado a altura h

- 4 Calcular a matriz de transição de probabilidades para uma retirada anual de M unidades de água [M],
- 5 Calcular a matriz de transição de probabilidade anual através do produto das matrizes parciais

$$[Q] = [E] [M] [E] [W]$$

- 6 Formar o sistema de equações para determinar a probabilidade de interesse

$$q_{00} \cdot p_0 + q_{01} p_1 + \dots + q_{0N} p_N = p_0$$

$$q_{10} p_0 + q_{11} p_1 + \dots + q_{1N} p_N = p_1$$

$$q_{N0} p_0 + q_{N1} p_1 + \dots + q_{NN} p_N = p_N$$

onde  $q_{ij}$  = probabilidade da reserva passar do estado i ao j em um ano e  $p_i$  = probabilidade da reserva atingir o estado i em condições de equilíbrio. Como o sistema acima não é homogêneo, uma de suas equações deve ser substituída por

$$p_0 + p_1 + \dots + p_N = 1$$

7 Resolver o sistema acima e calcular  $p_0$  e  $p_N$ , respectivamente, a probabilidade do reservatório estar seco e cheio em condições de equilíbrio

Através desta metodologia foram determinadas as curvas de probabilidade de enchimento do reservatório (inicialmente seco) na fase transiente considerando as retiradas de 0,  $Qr90/4$ ,  $Qr90/2$ ,  $3Qr90/4$  e  $Qr90$  (Quadro 8.2) Como pode-se observar pela figura 8.2, a retirada de  $Qr90$  ao atingir o equilíbrio tem uma garantia de um pouco mais de 90%, valor compatível com os resultados anteriores (volume anual regularizado com 90% de garantia) Na figura 8.2 apresenta-se as curvas de garantia para as retiradas de 0,  $Qr90/4$ ,  $Qr90/2$ ,  $3Qr90/4$  e  $Qr90$

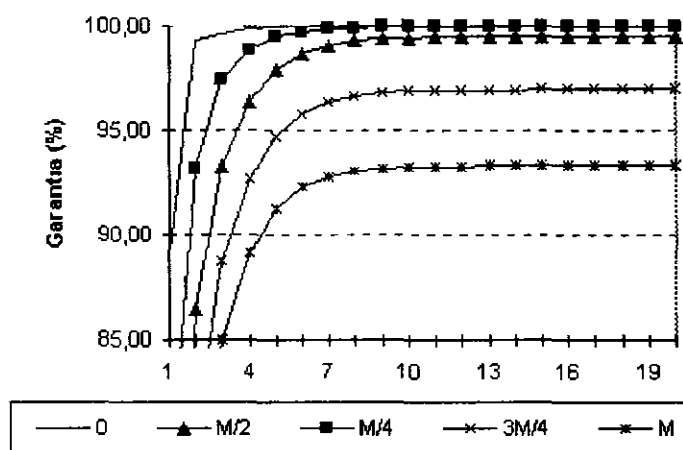


Figura 8.2 - Análise Probabilística da Garantia do Reservatório - fase transiente

$$M = Qr90$$

Quadro 8 2 - Análise Probabilística do Enchimento do Reservatório na Fase Transiente Reservatório inicialmente seco

ANO	RETIRADA (M = Q90)				
	0	M/4	M/2	3M/4	M
1	89,14	78,34	68,45	62,23	58,23
2	99,28	93,18	86,42	80,75	76,66
3	99,63	97,39	93,25	88,71	85,01
4	99,90	98,89	96,33	92,66	89,15
5	99,97	99,49	97,86	94,71	91,22
6	99,99	99,75	98,65	95,79	92,27
7	100,00	99,88	99,07	96,35	92,79
8	100,00	99,93	99,29	96,65	93,06
9	100,00	99,96	99,41	96,81	93,19
10	100,00	99,97	99,47	96,89	93,26
11	100,00	99,98	99,51	96,93	93,29
12	100,00	99,99	99,53	96,96	93,31
13	100,00	99,99	99,54	96,97	93,32
14	100,00	99,99	99,54	96,97	93,32
15	100,00	99,99	99,54	96,98	93,32
16	100,00	99,99	99,55	96,98	93,33
17	100,00	99,99	99,55	96,98	93,33
18	100,00	99,99	99,55	96,98	93,33
19	100,00	99,99	99,55	96,98	93,33
20	100,00	99,99	99,55	96,98	93,33

M = Retirada anual (hm<sup>3</sup>)

\* início do estado de equilíbrio (independência das condições iniciais)

Também foi realizada a análise probabilística de esvaziamento e de enchimento na fase de equilíbrio. A última análise mostra que, em equilíbrio, cerca de 36% dos anos ocorrem sangria para uma retirada anual de 9,728 hm<sup>3</sup>. A figura 8 3 apresenta as duas curvas probabilísticas (esvaziamento e enchimento), enquanto que o Quadro 8 3 os seus valores correspondentes. No Quadro 8 3 pode-se observar que para uma retirada igual a 9,728 hm<sup>3</sup>/ano tem-se uma probabilidade de esvaziamento na fase de equilíbrio igual a 8,9%, o que implica em uma garantia próxima a 90%.

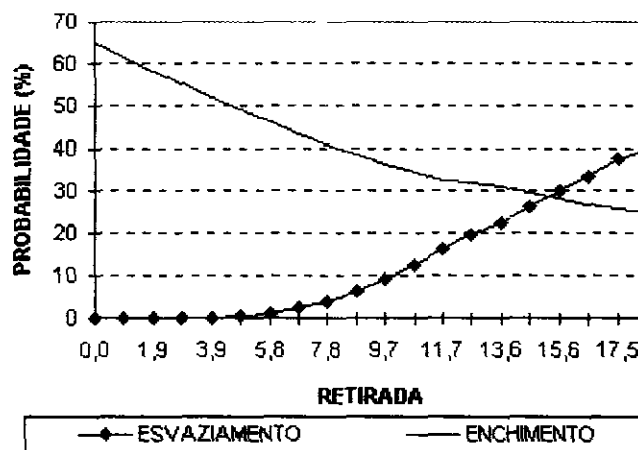


Figura 8 3 - Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio

Quadro 8 3 - Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio

RETIRADA	ESVAZIAMENTO	ENCHIMENTO
0,0000	0,00	64,80
0,9728	0,00	61,40
1,9456	0,00	58,10
2,9184	0,00	55,10
3,8912	0,10	52,10
4,8640	0,50	49,10
5,8368	1,10	46,30
6,8096	2,20	43,50
7,7824	3,90	41,00
8,7552	6,10	38,50
9,7280	8,90	36,30
10,7008	12,40	34,30
11,6736	16,00	32,60
12,6464	19,30	31,70
13,6192	22,60	30,80
14,5920	26,30	29,50
15,5648	29,90	28,10
16,5376	33,50	26,90
17,5104	37,40	25,90
18,4832	39,50	24,90