

GOVERNO DO ESTADO



**CEARÁ**  
AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

**GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ**  
**SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH**

**PROJETO EXECUTIVO DA RECUPERAÇÃO**  
**DA BARRAGEM JABURU I**

**ESTUDOS BÁSICOS - RESULTADOS DOS ESTUDOS**  
**HIDROMETEROLÓGICOS EXECUTADOS**

**RHJA - 990619-RE**

**COBA GEODINÂMICA**

**FORTALEZA- CE**  
**FEVEREIRO 1999**

GOVERNO DO ESTADO



**CEARÁ**

AVANÇANDO NAS MUDANÇAS

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

**PROJETO EXECUTIVO DE RECUPERAÇÃO DA**  
**BARRAGEM DO AÇUDE JABURU I**

Lote. 01053 - Prep (  ) Sem (  ) Index (  )  
Projeto Nº 0095/03/E  
Volume 1  
Qtd A4 \_\_\_\_\_ Qtd A3 \_\_\_\_\_  
Qtd A2 \_\_\_\_\_ Qtd A1 \_\_\_\_\_  
Qtd A0 \_\_\_\_\_ Outros \_\_\_\_\_

**ESTUDOS BÁSICOS - RESULTADOS DOS**  
**ESTUDOS HIDROMETEOROLÓGICOS EXECUTADOS**

**RHJA-990619 - RE - Rev. 0**



CONSÓRCIO *GEODINÂMICA* COBA

FORTALEZA  
Junho/99

## SUMÁRIO

### **1 - INTRODUÇÃO**

### **2 - CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA**

### **3 - CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA**

#### **3.1 - Parâmetros Meteorológicos**

*3.1.1 - Temperatura*

*3.1.2 - Umidade Relativa do Ar*

*3.1.3 - Evaporação*

*3.1.4 - Evapotranspiração*

#### **3.2 - Balanço Hídrico**

#### **3.3 - Classificação Climática**

### **4 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS**

#### **4.1 - Postos Utilizados**

#### **4.2 - Pluviometria Média na Bacia**

#### **4.3 - Estudo de Chuvas Intensas**

*4.3.1 - Objetivo do Estudo*

*4.3.2 - Metodologia Utilizada*

*4.3.3 - Chuvas Intensas na Bacia*

### **5 - ESTUDO DOS DEFLÚVIOS**

#### **5.1 - Dados Existentes**

**5.2 - Modelo Matemático Chuva-Deflúvio**

*5.2.1 - Introdução*

*5.2.2 - Calibração do Modelo MODHAC*

**5.3 - Volumes Mensais Afluentes**

**6 - ESTUDO DA CHEIA DE PROJETO**

**6.1 - Introdução**

**6.2 - Metodologia Utilizada**

**6.3 - Hidrograma Unitário Triangular do SCS**

**6.4 - Hidrograma das Cheias de Projeto**

**7 – DADOS DA BACIA HIDRÁULICA DO AÇUDE**

## 1 - INTRODUÇÃO

O objetivo deste relatório é o de apresentar os resultados dos Estudos Hidrometeorológicos executados e referentes à bacia hidrográfica do Açude Jaburu. Estes estudos fazem parte dos Estudos Básicos que estão sendo elaborados para o Açude Jaburu e que fornecerão os subsídios para o Diagnóstico dos problemas identificados e para definição das obras de recuperação.

Os dados aqui apresentados servirão de base para as reavaliações das disponibilidades hídricas do açude e ainda para os estudos dos níveis de segurança da barragem no que se refere a capacidade do vertedouro existente no escoamento das cheias obtidas a partir dos dados aqui apresentados.

## 2 - CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA

Utilizando as Cartas Topográficas da SUDENE, na escala 1 100 000, obteve-se, para a bacia hidrográfica do açude Jaburu I, as seguintes características fisiográficas principais

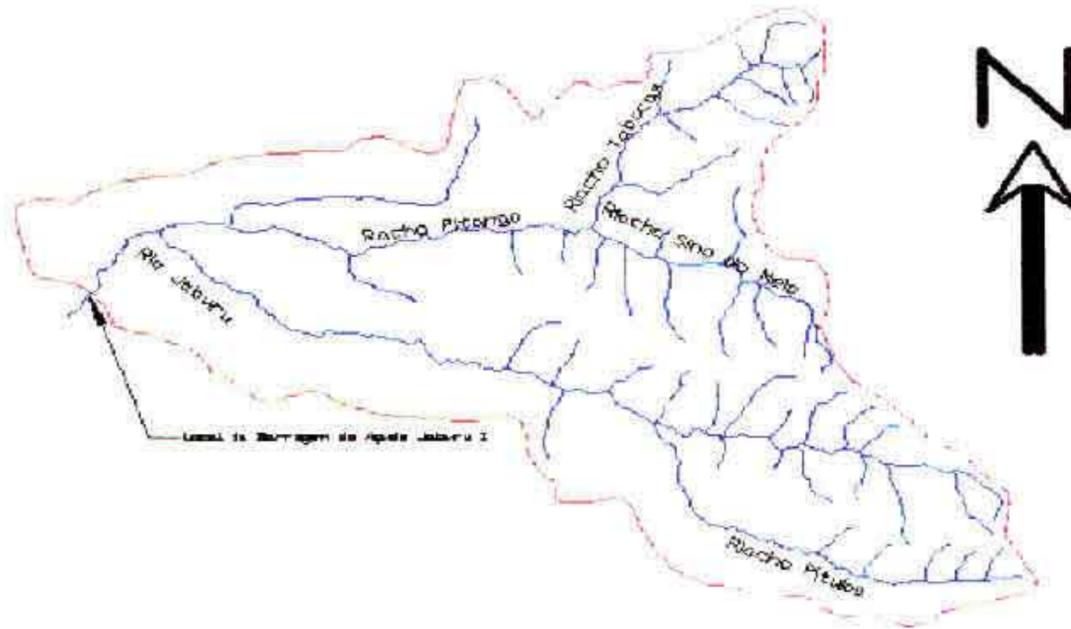
- Localização do exutório no rio Jaburu I

Latitude = 3°51'37" S (9 572 981mN)

Longitude = 41°06'47" W (265 723mE)

- Área de Drenagem 315,51 Km<sup>2</sup>
- Perímetro da Bacia 96,0 Km
- Coeficiente de Compacidade 1,51
- Coeficiente de Forma 0,24
- Declividade Média do Curso D'Água Principal 0,00597 m/m
- Declividade Média da Parte Superior do Curso D'Água Principal 0,00747 m/m
- Declividade Média da Parte Inferior do Curso D'Água Principal 0,00528 m/m
- Comprimento do Curso D'Água Principal 36,4 Km
- Ordem da Bacia, segundo o Método de Horton-Strahler, na escala de 1 100 000 4ª ordem
- Principal Afluente da Margem Esquerda Riacho Pituba
- Principais Afluentes da Margem Direita Riacho Pitanga

Os coeficientes de compacidade e de forma da bacia, denunciam que a mesma possui forma irregular, conforme pode-se constatar no mapa da bacia do açude Jaburu I



Mapa da Bacia Hidrográfica do Açude Jaburu I, apresentando sua rede de drenagem

### 3 - CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

#### 3.1 - Parâmetros Climáticos

Na bacia do açude Jaburu I não existe estação meteorológica, portanto seu comportamento climático será representado, com razoável aproximação, pela estação meteorológica de Guaramiranga, em Guaramiranga-Ce

Essa estação meteorológica é operada pelo INMET - Instituto Nacional de Meteorologia -, o qual publicou em 1992 as normais climatológicas do período 1961-1990, fornecendo, portanto, valores médios dos diversos parâmetros meteorológicos da estação, utilizados no presente estudo

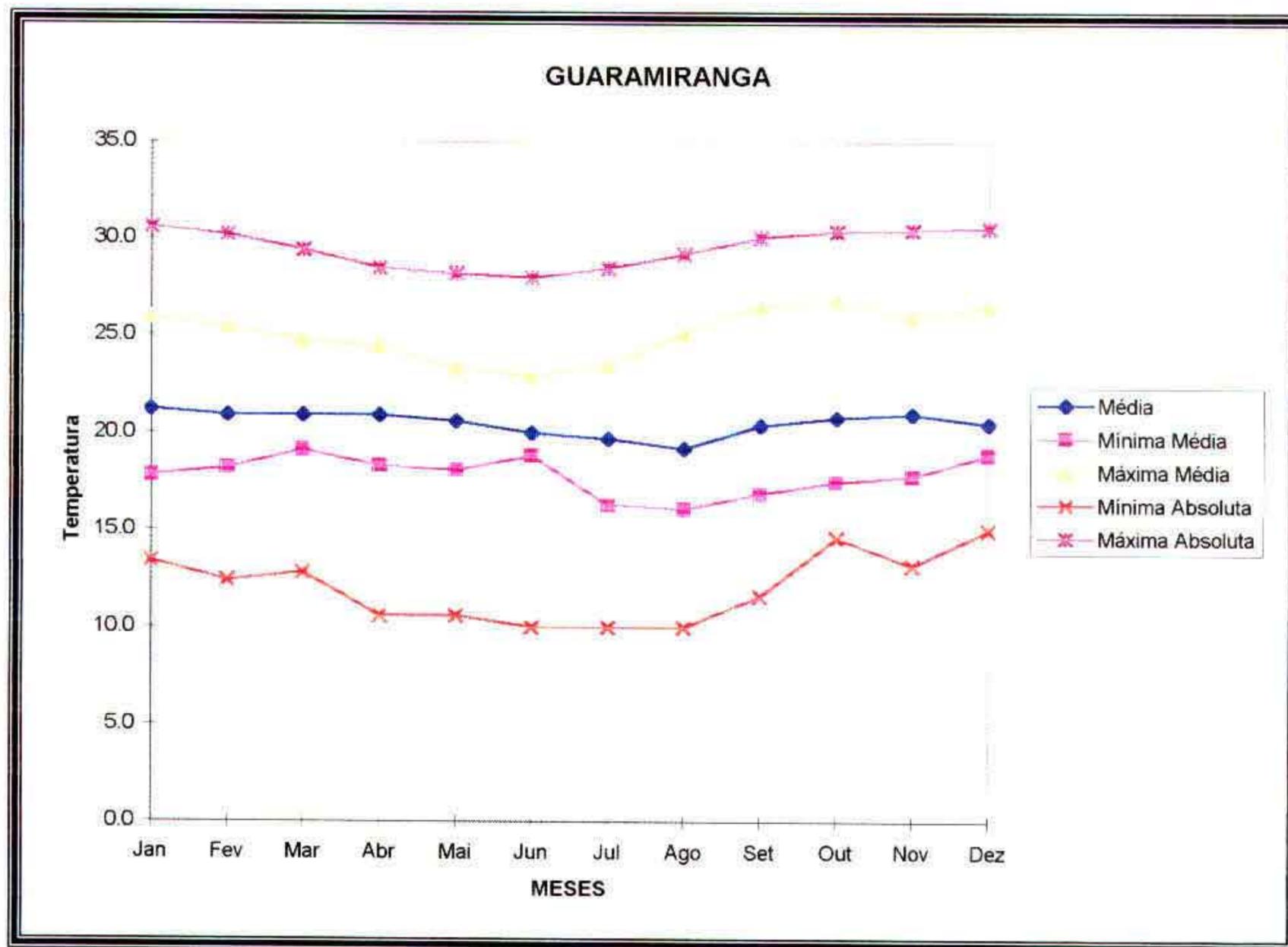
#### 3.1.1 - Temperatura

A Tabela 3.1 e a Figura 3.1 apresentam os valores médios das temperaturas médias, mínimas e máximas

**TABELA 3.1**

**Temperatura Média, Mínima Média, Máxima Média, Mínima Absoluta e Máxima Absoluta na Estação Meteorológica de Guaramiranga**

TEMPERATURA	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Média	21 2	20 9	20 9	20 9	20 6	20 0	19 7	19 2	20 4	20 8	21 0	20 5	20 5
Mínima Média	17 8	18 2	19 1	18 3	18 1	18 8	16 3	16 1	16 9	17 5	17 8	18 9	17 8
Máxima Média	25 9	25 4	24 7	24 4	23 3	22 9	23 4	25 1	26 5	26 8	26 0	26 5	25 1
Mínima Absoluta	13 4	12 4	12 8	10 6	10 6	10 0	10 0	10 0	11 6	14 6	13 2	15 0	12 0
Máxima Absoluta	30 6	30 2	29 4	28 5	28 2	28 0	28 5	29 2	30 1	30 4	30 5	30 6	29 5



**Figura 3.1 - Temperaturas do ar para a bacia do açude Jaburu I.**

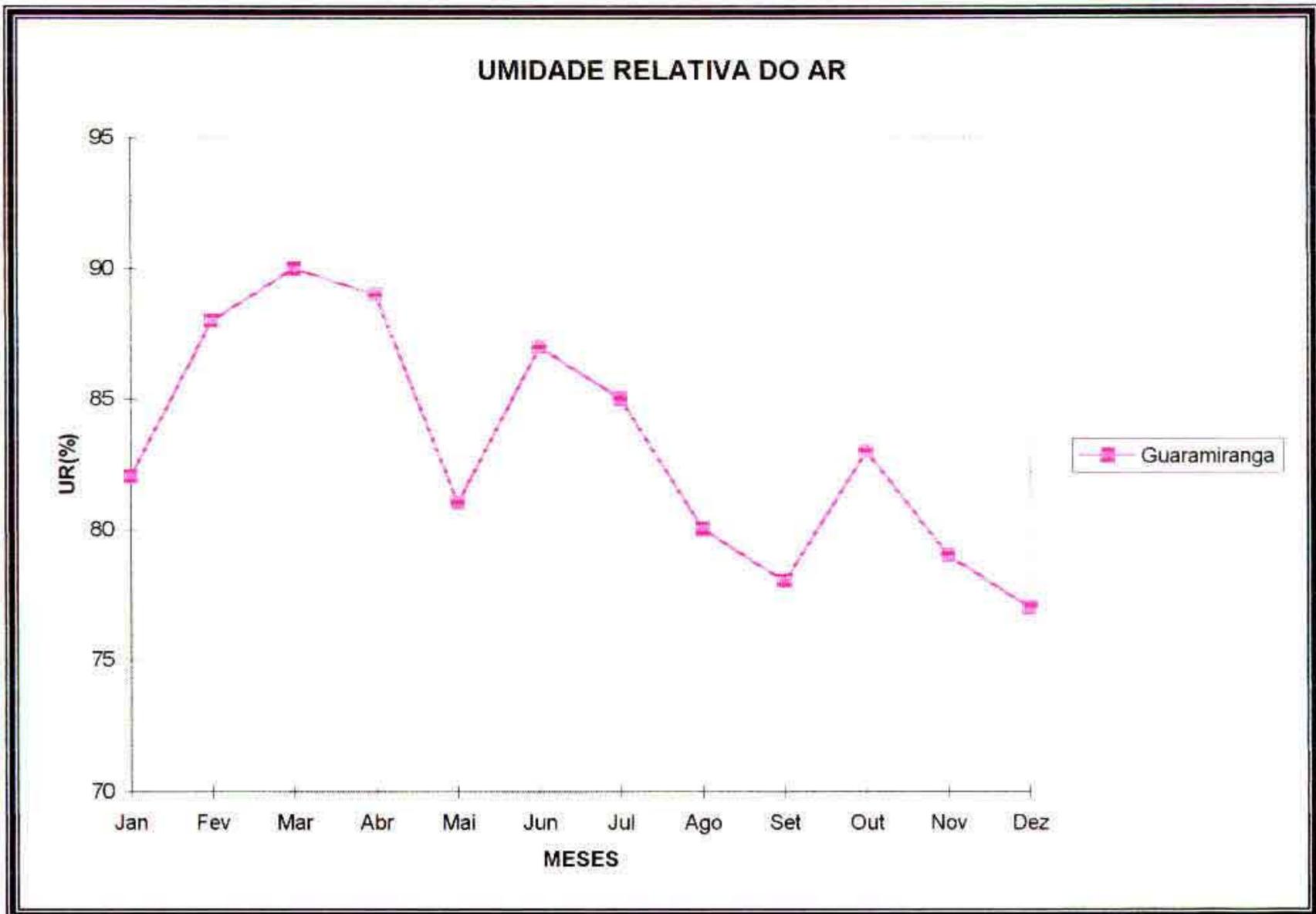
3.1.2 - Umidade Relativa do Ar

Na Tabela 3.2 e na Figura 3.2, observa-se a umidade do ar na estação Guaramiranga.

**TABELA 3.2**

**Umidade Relativa do ar**

Posto	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Guaramiranga	82	88	90	89	81	87	85	80	78	83	79	77	83.3



**Figura 3.2 - Umidade relativa média do ar na bacia do açude Jaburu I**

### 3.1.3 – Evaporação

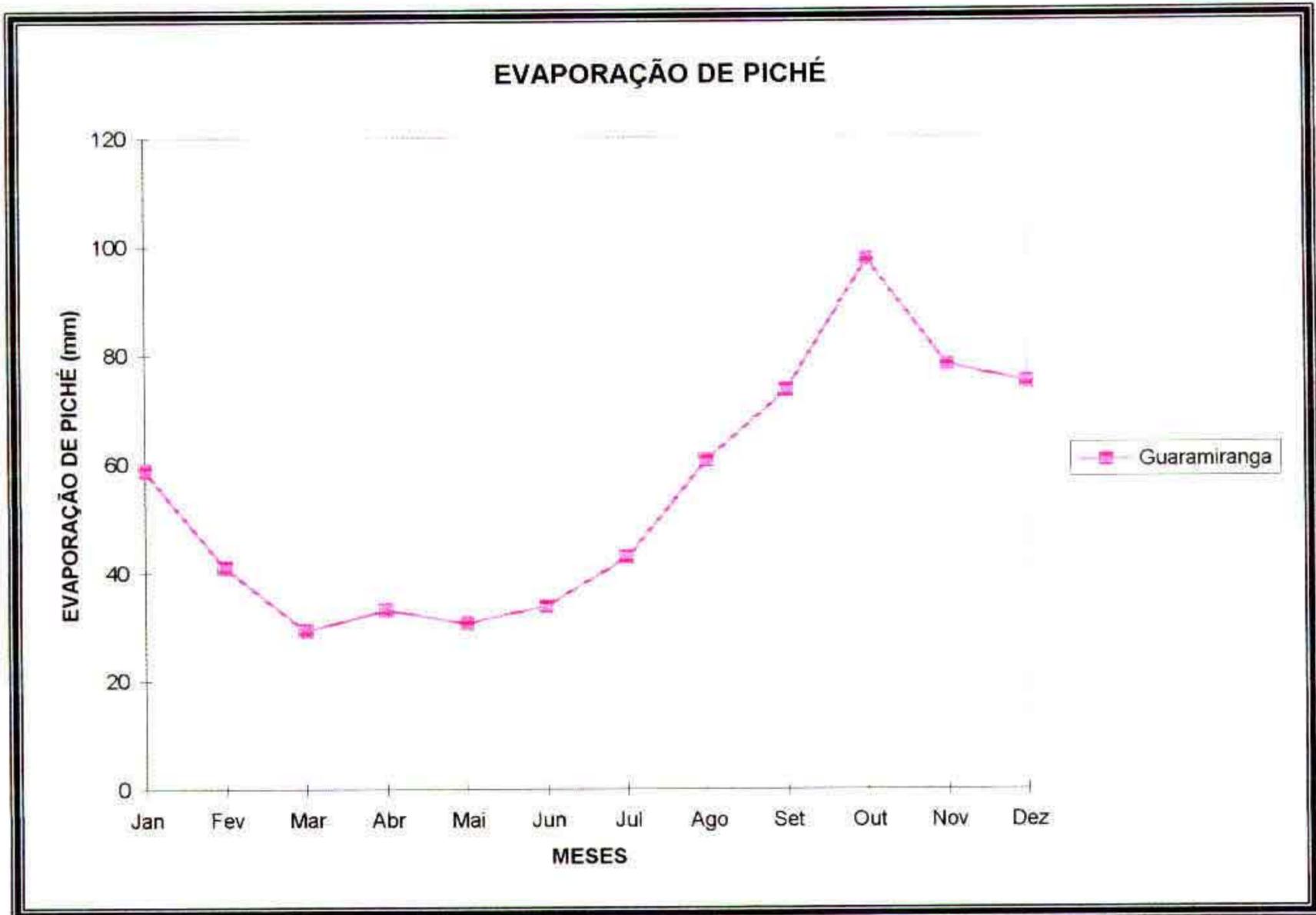
A evaporação normalmente é medida pelos seguintes aparelhos: evaporímetro de Piché e evaporímetro Tanque Classe “A”.

O evaporímetro de Piché mede apenas o poder evaporativo do ar, porquanto é instalado no abrigo meteorológico da estação e, conseqüentemente, ao abrigo de radiação solar e de fortes ventos. A Tabela 3.3 e a Figura 3.3 apresentam seus valores médios.

**Tabela 3.3**

**Evaporação de Piché (mm)**

Posto	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Guaramiranga	58.8	41	29.3	33.1	30.7	33.9	42.8	60.7	73.6	97.6	78.2	75	654.7



**Figura 3.3 - Evaporação média de Piché na bacia do açude Jaburu I**

O Tanque Classe “A” mede a evaporação, porquanto exposto ao vento e à radiação solar. Esse aparelho, contudo, não fornece a evaporação real de lagos e açudes, medindo apenas o potencial evaporativo dos mesmos. No Estado do Ceará usa-se o coeficiente igual a 0,80 para estimar a evaporação dos açudes, a partir da evaporação do Tanque Classe “A” - conhecido como Coeficiente do Tanque Classe “A”.

Na publicação do INMET - Normais Climatológicas (1961-1990) é apresentada a evaporação de Piché e não a do Tanque Classe “A”. Como na referida publicação não está especificado o aparelho utilizado, é bastante possível sua utilização como sendo a evaporação do Tanque Classe “A”, o que seria bastante lamentável, uma vez que a evaporação de Piché é bem inferior à do Tanque Classe “A”.

Através da Tabela 3.4 e da Figura 3.4 observa-se que a evaporação da parte baixa da bacia é bastante superior àquela da sua parte alta.

TABELA 3.4

Evaporação Tanque Classe "A" (mm)

Posto	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Guaramiranga	118	82.4	63.3	71.5	61.7	68.2	79.7	104	137	182	146	140	1252.9

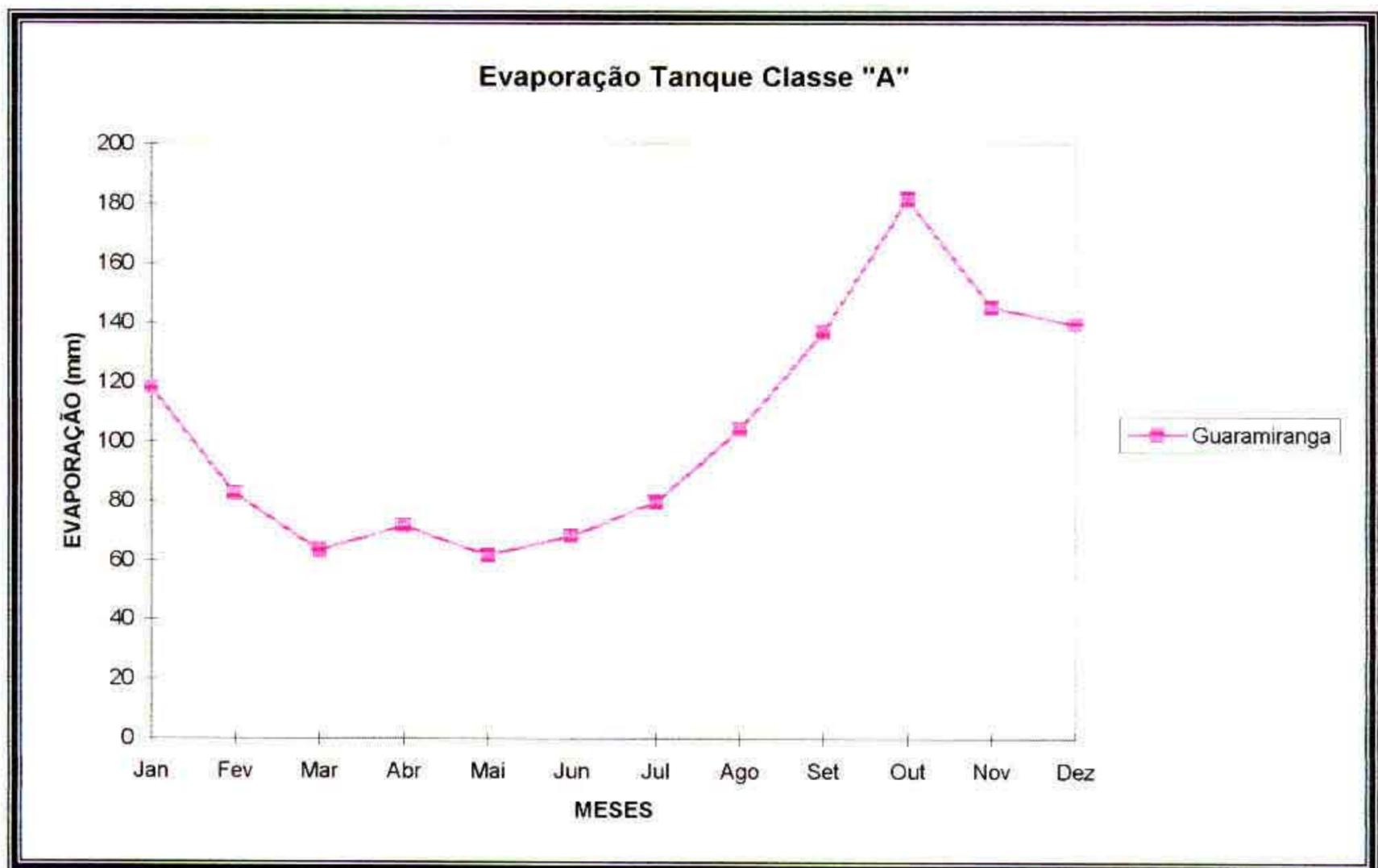


Figura 3.4 - Evaporação média do Tanque Classe "A" na bacia do açude Jaburu I

### 3.1.4 - Evapotranspiração

A evapotranspiração potencial pode ser avaliada pelos métodos de Thornthwaite e de Hargreaves, sendo este o mais utilizado, pois foi desenvolvido no Nordeste brasileiro.

Na tabela 3.5 e na figura 3.5 observa-se evapotranspiração potencial da estação de Guaramiranga.

TABELA 3.5

Evapotranspiração Potencial em Guaramiranga (mm)

Método	MESES												ANO
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Hargreaves	109.5	84.74	80.03	77.41	95.38	74.31	84.02	102.3	116.4	107.5	118	88.72	1138.3
Thornthwaite	87.01	75.54	82.7	79.52	79.09	71.38	71.61	67.81	75.35	82.61	82.2	80.74	935.5

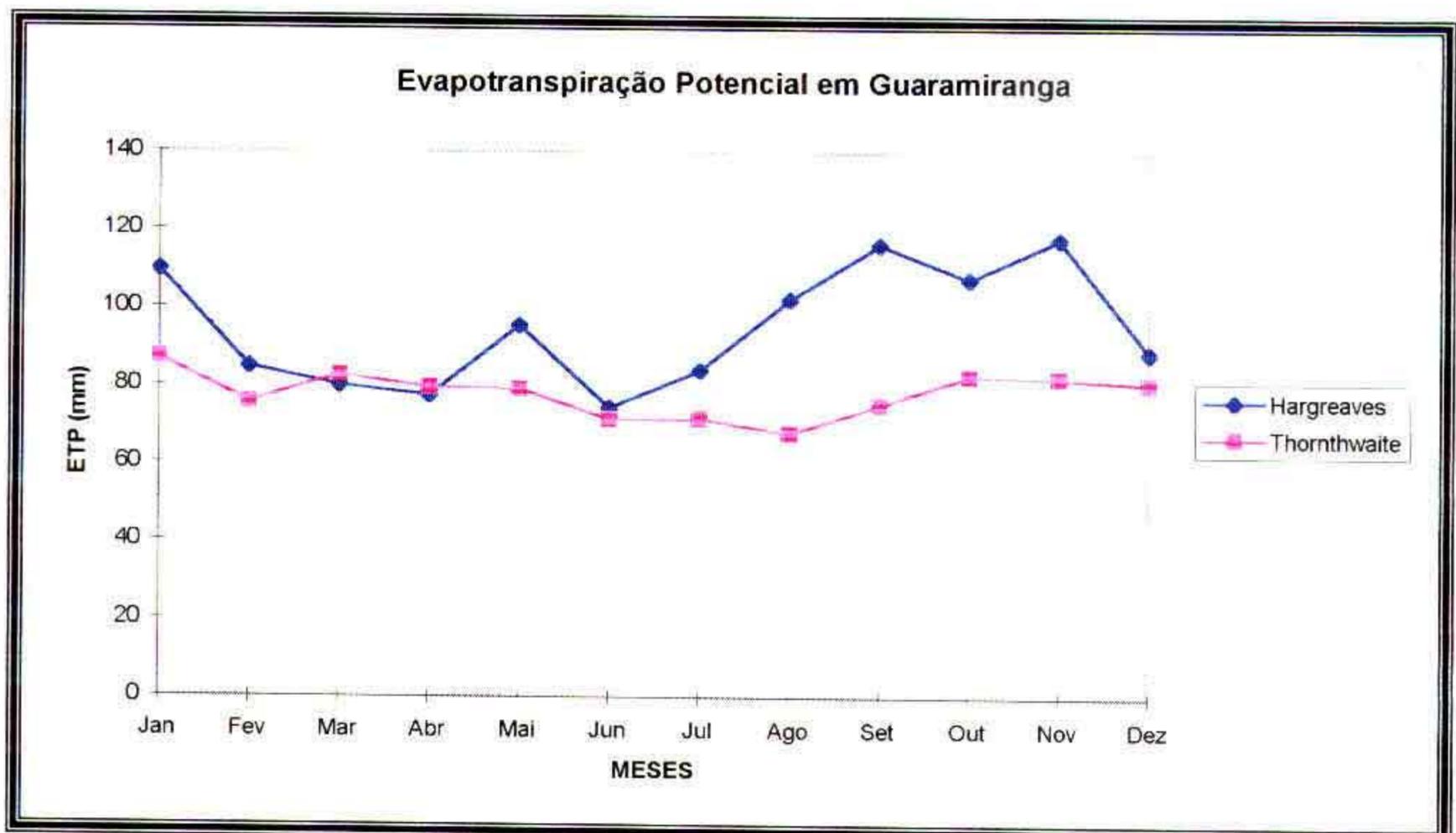


Figura 3.5 - Evapotranspiração potencial média de Thornthwaite e de Hargreaves, para bacia do açude Jaburu I.

### 3.2 - Balanço Hídrico

A fim de possibilitar o conhecimento da necessidade de irrigação de qualquer bacia, utiliza-se normalmente o balanço hídrico de Thornthwaite e Mather, o qual mostra os excessos e deficiências hídricas da bacia considerada.

Além disso, o balanço hídrico de Thornthwaite e Mather permite o cálculo de alguns índices, tornando possível a definição climática da bacia estudada.

No verão – janeiro a março – e no outono - abril a junho , o balanço hídrico da bacia do açude Jaburu I mostra que há substancial excesso hídrico, conforme constata-se facilmente na tabela 3.6 e na figura 3.6.

TABELA. 3.6

**BALANÇO HÍDRICO SEGUNDO THORNTHWAITE &  
MATHER GUARAMIRANGA**

Período	Prec. Média Mensal (mm)	ETP Thornthwaite (mm)	P-ETP (mm)	Negativo Acumulado (mm)	Armaz.	Alteração do Armaz.	ETR (mm)	Deficit (mm)	Excesso (mm)
Jan	127.2	87.0	40.2	-40.2	100	76	87.0	0.0	0.0
Fev	180.0	75.5	104.5	0.0	100	0	75.5	0.0	104.5
Mar	288.3	82.7	205.6	0.0	100	0	82.7	0.0	205.6
Abr	270.1	79.5	190.6	0.0	100	0	79.5	0.0	190.6
Mai	236.2	79.1	157.1	0.0	100	0	79.1	0.0	157.1
Jun	192.5	71.4	121.1	0.0	100	0	71.4	0.0	121.1
Jul	132.8	71.6	61.2	0.0	100	0	71.6	0.0	61.2
Ago	61.6	67.8	-6.2	-6.2	94.0	-6	67.6	0.2	0.0
Set	42.5	75.3	-32.8	-39.0	67.0	-27	69.5	5.8	0.0
Out	43.0	82.6	-39.6	-78.6	44.0	-23	66.0	16.6	0.0
Nov	34.5	82.2	-47.7	-126.3	27.0	-17	51.5	30.7	0.0
Dez	65.5	80.7	-15.2	-141.5	24.0	-3	68.5	12.2	0.0
ANO	1674.2	935.5				0.0	869.9	65.6	840.1

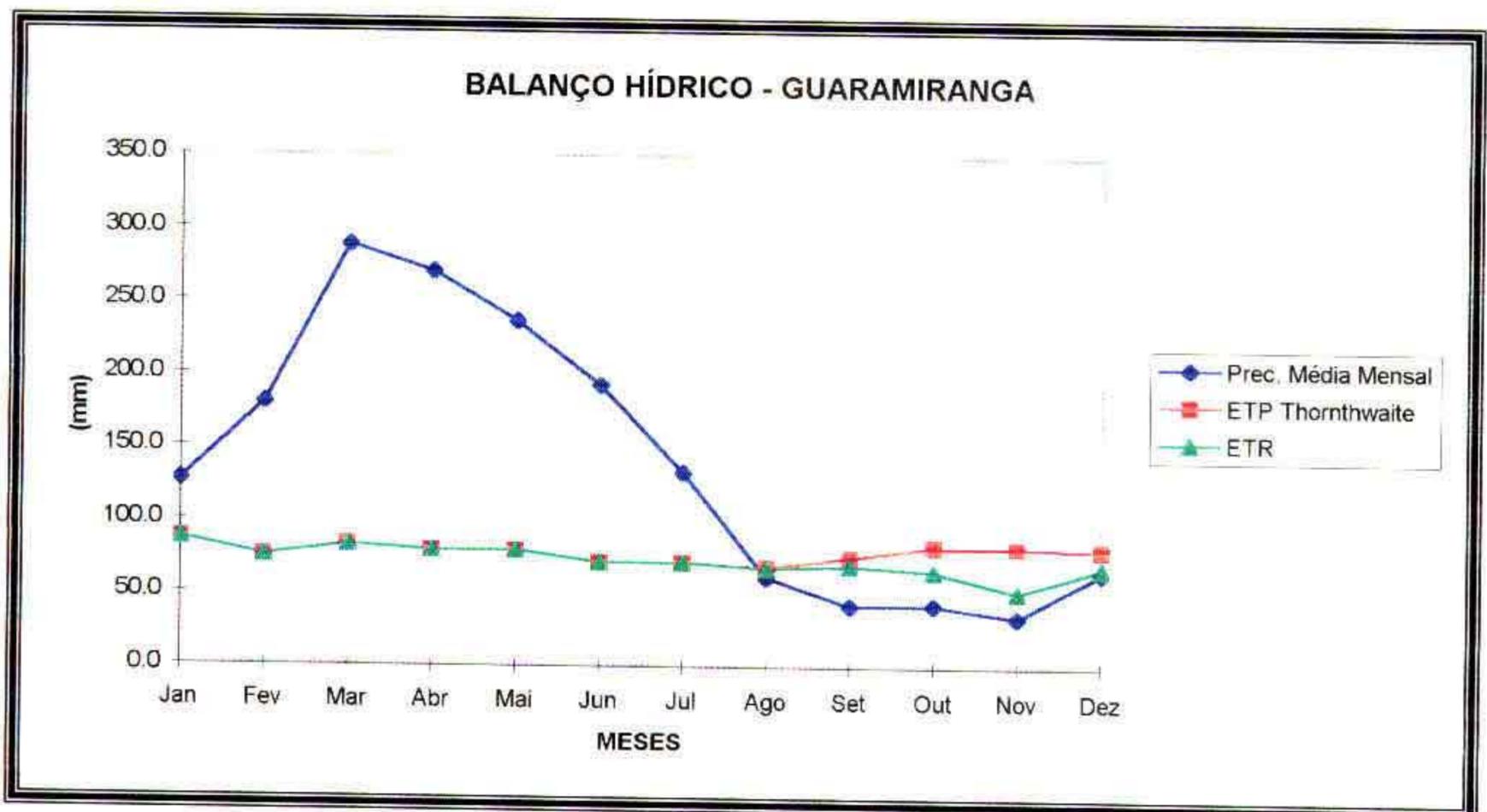


Figura 3.6 - Balanço hídrico de Thornthwaite e Mather, para a bacia do açude Jaburu I.

### 3.3 - Classificação Climática

A classificação climática, segundo a metodologia de Thornthwaite, baseia-se nos seguintes índices

- Índice de Umidade,  $I_u$  (%), dado pela expressão

$$I_u = 100 \times \text{EXC}/\text{ETP}, \quad \text{onde}$$

EXC = excesso hídrico do ano  
ETP = evapotranspiração potencial

- Índice de Aridez,  $I_a$  (%), dado pela expressão

$$I_a = 100 \times \text{DEF}/\text{ETP}, \quad \text{onde}$$

DEF = déficit hídrico do ano  
ETP = evapotranspiração potencial

- Índice de Eficiência Térmica,  $I_{\alpha}$  (mm), dado pela evapotranspiração anual média
- Índice Efetivo de Umidade,  $I_{eu}$  (%), dado pela expressão

$$I_{eu} = I_u - 0,6 \times I_a$$

Para a bacia do açude Jaburu I. obteve-se os seguintes valores para os índices descritos no parágrafo anterior

#### ÍNDICES E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICOS SEGUNDO THORNTHWAITTE

Estação Meteorológica	Índices Climáticos				Classificação Climática de Thornthwaite
	$I_{eu}$ (%)	$I_a$ (%)	$I_{\alpha}$ (mm)	$I_u$ (%)	
Guaramiranga	11,7	34,0	1674,0	32,1	C <sub>2</sub> W <sub>2</sub> A' a'

Conforme a classificação climática de Thornthwaite, a bacia possui clima úmido, com pequena deficiência hídrica no inverno e primavera ( julho a dezembro), mesotérmico, apresentando pequena variação da evapotranspiração potencial ao longo do ano

## 4 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

### 4.1 - Postos Utilizados

Uma análise detalhada das informações pluviométricas existentes resultou nos postos pluviométricos apresentados na Tabela 4.1, onde são mostradas suas principais características

**TABELA 4.1**  
**CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DOS POSTOS**  
**PLUVIOMÉTRICOS UTILIZADOS**

Nº de ordem	CÓDIGO	NOME DO POSTO	MUNICÍPIO	COORDENADAS		ALTITUDE (m)	DATA DE INSTALAÇÃO
				LATITUDE	LONGITUDE		
1	2778714	Ubajara	Ubajara	03° 51'	40° 56'	870,00	01/1912
2	2778406	Tianguá	Tianguá	03° 44'	40° 59'	795,00	01/1912
3	2778825	Ibiapina	Ibiapina	03° 55'	40° 53'	885,00	01/1912
4	2777987	Sto Antônio de Pindoba	Ibiapina	03° 57'	41° 04'	780,00	12/1961

Os dados dos postos pluviométricos existentes foram obtidos junto ao PERH<sup>1</sup> e, portanto, já devidamente consistidos e homogeneizados

No anexo 4 A pode ser observado as disponibilidades de dados dos postos pluviométricos utilizados

### 4.2 - Pluviometria Média na Bacia

O estudo da disponibilidade dos dados diários dos postos selecionados constatou a necessidade da utilização de uma razoável combinação de postos pluviométricos, a fim de tornar possível a determinação da chuva média diária na bacia do açude Jaburu I, para o período de 1912 a 1988

A combinação de postos é imprescindível, porquanto o preenchimento de dados de chuva inexistentes a nível diário, através de outros postos pluviométricos não é viável, tanto face sua imensa variabilidade, como também as grandes distâncias entre os postos

No presente estudo obteve-se um total de 36 ( trinta e seis ) combinações de 2 (dois) ou mais postos

A chuva média diária na bacia, para o caso das 36 ( trinta e seis ) combinações de postos supra mencionados, foi obtida através da utilização do Método dos Polígonos de Thiessen

<sup>1</sup> CEARA Secretaria dos Recursos Hídricos Plano Estadual dos Recursos Hídricos  
Guaramiranga, 1992 4v v 2 Estudos de Base I

Para o período 01/1945 a 12/1945 onde só há um posto pluviométrico disponível, obteve-se a chuva média diária através da expressão empírica

$$P_{\text{bacia}} = P_o (1 - w \log(A_{\text{bacia}}/A_o))$$

onde

$P_{\text{bacia}}$  - chuva média na bacia hidrográfica, em mm.

$P_o$  - chuva no ponto (posto pluviométrico), em mm.

$A_{\text{bacia}}$  - área na bacia hidrográfica, em Km<sup>2</sup>.

$A_o$  - área de influência do ponto, considerada igual a 25 Km<sup>2</sup>.

$w$  - coeficiente empírico Adotou-se o valor 0,10

Assim sendo, determinou-se a chuva diária na bacia do açude Jaburu I, para o período de 1912 a 1988, perfazendo, portanto, um total de 77 anos de dados

Na tabela 4.2 é apresentado a precipitação média na bacia, a nível mensal e anual, como também seu resumo estatístico

**TABELA 4.2**

**Pluviometria Mensal e Anual da Bacia do Açude Jaburu I e  
Respectivo Resumo Estatístico**

ANO	MESES												ANUAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1912	90.3	423.5	410.4	563.4	769.6	50.6	43.5	52.1	28.3	0	6	12.7	2450.4
1913	56.5	287	655.8	330.7	327.9	103	48.6	38.7	6.8	19.9	0.4	92.7	1968
1914	206.2	362.6	281.6	293.1	109.9	160.2	61.4	75	4.9	20.9	3	0	1578.8
1915	63.8	91.8	80.3	160.6	54.5	35.1	2.3	8.3	0.7	0.6	0	132.4	630.4
1916	198.3	209.4	345.2	314.7	139.3	104.5	9.7	0	0	1.8	44.3	55.5	1422.7
1917	293.8	355.4	530.1	350	401.5	50.6	27.1	4.2	0.6	5.4	119.9	81.2	2219.8
1918	259.6	173	352.1	170.4	441.1	97.7	6.7	54.8	2.4	0	0	1.5	1559.3
1919	40.8	145	117.8	41.5	83.6	20.1	7.2	1.1	18.3	0	0.4	5	480.8
1920	28.7	78.7	423.3	332.2	156.8	93.6	41.1	8.5	0.1	0.9	23	144.2	1331.1
1921	144.1	334.4	429.6	369	354.7	128.7	109.4	0.3	6	17.8	48.8	10.5	1953.3
1922	94.8	185.7	347.3	470.1	241.7	116.1	38.8	12.1	2.2	0	24.7	9	1542.5
1923	166.4	450.3	299.1	348.9	53.8	66.2	27.8	1.7	0.5	1	30.9	7.5	1454.1
1924	186.7	325.2	430.6	512.2	378.6	172.9	9	1.7	2	22.3	6.6	186.3	2234.1

CONSÓRCIO  
GEODINÂMICA/COBA

ANO	MESES												ANUAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1925	162 9	231 8	509 7	579 8	211 8	33 3	40	1 3	1 8	43 1	18 7	23 3	1857 5
1926	192 5	391 7	463 3	532 7	193 2	18 5	6 1	0	3 7	0	0 1	0 7	1802 5
1927	121 2	258 5	351 2	671 5	93 2	41 1	26 4	3 4	1 8	2 5	5 3	18	1594 1
1928	159 6	63 2	258 4	314	58 5	27 7	15 8	1 9	1 9	1 4	8 2	78 6	989 2
1929	196 8	430 8	683 7	470 8	308 9	135 2	12 4	11 7	3 8	15 8	2 1	4 1	2313
1930	213 3	281 4	239 3	227	24	210	2 6	0 5	1 9	21 9	8 9	6 5	1237 3
1931	84 5	237 9	323	289 4	76 9	7 4	9	10 2	0	0	0	2 8	1041 1
1932	88 8	240 6	228 6	89 6	22 9	39 3	8 2	0	0 1	0	0	0	718 1
1933	105 9	181 8	333 7	547 1	71 9	0	0	0	0	2 7	0	28 7	1271 8
1934	196 4	507 4	587 5	347 2	474 8	67 2	0	0	0 2	0	64 9	122 1	2367 7
1935	300 4	416 3	358 7	595 4	304 2	53 3	8 6	5 4	9 8	1 5	0	87 3	2140 9
1936	71 8	391 4	126 9	303 2	158 8	69 1	0 6	0	0	0	3 1	1 2	1126 1
1937	40 3	415 5	214 5	394 4	269 2	70 9	47	1 6	17 4	1 6	8 9	29 8	1511 1
1938	168 1	120 7	379 4	476 3	76 2	30 9	21 7	0 1	4 9	0 5	0 1	67 1	1346
1939	92 3	442 8	380 6	271 4	112 1	50 1	69 1	6 4	33 3	45 5	4 5	21 3	1529 4
1940	134 4	295 7	379 1	596 8	261 2	202 6	31 6	5 1	0 5	3 9	0	28 5	1939 4
1941	24 6	219 1	265 6	357 9	122 8	39 3	19 9	18 5	3 5	0	15 6	39	1125 8
1942	9 1	106	297 7	164 5	75 4	8 9	0 5	0 1	0	3 2	6	55 9	727 3
1943	157 5	99 1	324 7	276	163 4	42 4	52 5	1 4	4 2	0 1	17 2	74 8	1213 3
1944	101 4	129 2	396 6	227 4	283 2	33 3	24 7	1 6	1 3	0 4	0	275 8	1474 9
1945	207	441 9	293 1	291 1	204 6	67 1	25 5	11 6	17 8	13 6	4 5	28 4	1606 2
1946	486 1	287 4	362 9	328 7	81 5	118 8	4 6	1 2	0	1	7	96 6	1775 8
1947	188	255	448 9	483 6	228 6	23 6	32 4	15 9	1 8	1 1	129	207 2	2015 1
1948	119 7	220 4	294 8	181 8	146 1	52 6	60 6	6 1	14 9	2 1	0	55 6	1154 7
1949	78 3	309 7	268 8	226 4	113 5	63	42 8	28 4	3 1	0 7	81 5	38	1254 2
1950	197 4	218 2	465	435 3	115 4	18 5	16 2	1 1	1 8	0	8 7	103 7	1581 3
1951	63 4	104 7	200 1	229 9	137	135 5	16 7	0	0	0	0 1	65 5	952 9
1952	65 5	165 1	255 5	259 5	116 6	9 6	5 6	1 6	0	0	8 3	25 1	912 4
1953	54 6	99 7	214 1	321 4	39	19 2	3 9	1	0	0	3 4	64 8	821 1
1954	15 8	322 4	372 2	142 7	228 3	40 3	2	2	1	0	38 5	0 4	1165 6
1955	220 2	202 7	425 3	576 7	154 5	24 1	3 7	4 2	0	10 5	7 1	37 5	1666 5
1956	51 1	363 1	598 5	337 5	65 2	24 9	18 5	24 7	5 7	0 1	3	45 5	1537 8
1957	268 4	84 5	284 4	451 2	179 8	35 8	27 5	1 2	0	6 1	3 3	74 3	1416 5
1958	146 5	87	83 6	108 6	151 6	27 2	0	0	0	0	0	1 6	606 1
1959	135	357 6	377 9	209 9	230 8	61 4	21 2	45	3 3	0	17 8	0	1459 9
1960	53 2	143 2	440 4	270 4	57 2	77 3	39 5	1 6	0	3 8	0 5	51 5	1138 6
1961	253 1	649 6	408 9	402 8	148 8	57 2	7 5	3 5	0	0	19 5	74 5	2025 4
1962	198 3	240 3	347 9	179 4	150 7	50 3	12	2 6	0	0	32 3	66 1	1279 9
1963	225 9	203 5	595 2	384 4	41 4	13 1	34 7	4	1 7	0	26 5	138 6	1669
1964	261 6	517 2	268 2	523 7	369 7	30 9	8 6	31 1	17 1	1 8	1 3	0 6	2031 8
1965	112 6	93 4	442	585 1	268 6	165 1	7 5	2 3	21 5	51 3	0	16 5	1765 9
1966	21 5	191 4	178 5	204 7	89 8	55 1	32 4	10 2	7 1	0	4 6	27 9	823 2
1967	44 2	223 1	449 6	358	376	42 3	24 2	15 3	42	3 4	0 6	36 2	1614 9
1968	111 6	124 1	326 3	266 9	309 9	16 7	21	7 6	0	3	0 4	98 5	1286
1969	104 9	162 5	255 3	344 6	88 3	90 8	105 5	10 6	0	1 9	2 6	5 5	1172 5
1970	88 1	92 4	268 7	184 2	60 7	33 2	44 2	4 2	13	1 5	32	6 2	828 4

ANO	MESES												ANUAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1971	145	198 1	327 3	311 4	305 1	93 6	54 6	12 9	2 3	34 9	1 5	0 3	1487
1972	38 8	102 4	208 6	257 5	169 6	78 2	32 7	13 7	0	1 6	0	35 8	938 9
1973	340 3	181 3	402 6	577 5	302 8	185 3	114 8	10 7	23 5	20	3 2	58 4	2220 4
1974	372 2	397 7	534 6	889 5	443 4	99 8	7 6	2 4	59 5	47 7	0	81	2935 4
1975	90 2	257 6	392 7	223 4	362	132 2	50	28 7	18 3	0 9	1 3	146 8	1704 1
1976	108 9	310 5	255	259	86 2	37 2	18 3	2 5	15 4	31 3	16	11 4	1151 7
1977	189 8	156 5	266 7	267 4	161 4	81 3	79 9	10 4	6 6	0	0	65 6	1285 6
1978	198 2	97 8	121 8	327 1	161 3	15 6	106 7	2 1	13	1 7	57 1	41 9	1144 3
1979	97 8	106 5	166	119 7	184 8	54	13	4 1	6 4	2 5	22 3	4 1	781 2
1980	59 1	346 2	222 8	98 1	44 9	44 5	1 3	1	72 7	395 8	251 8	128 3	1666 5
1981	55 8	57 8	1 8	1 4	21	4 7	23 7	36 5	113 1	107 1	382 5	102 6	908
1982	126 7	11 2	0	16	0 4	0	0 6	104 6	74 5	212 1	189	183 9	919
1983	89 9	35 3	16 9	5 4	4	4	45 1	77 4	20 2	178 5	168	120 2	764 9
1984	23 5	9 4	2 5	5 3	0	17 8	0	4 7	120 9	167 5	385 3	413 2	1150 1
1985	395 8	87 5	13 2	11 8	4 2	14 7	3 8	40 5	285 7	407 8	427 8	473 8	2166 6
1986	355 8	160 1	63 3	13 4	28 2	0 4	0 6	139 6	159 6	273 6	476 4	533 7	2204 7
1987	271	117 2	41 7	16 1	12 7	10 1	77 1	23 4	44 7	51 6	274 3	46 2	986 1
1988	26 9	47 8	0	0	0	0 1	0	12 1	73 6	128	233 1	341 9	863 5
Média	145 6	230 2	308 7	307 5	173	59 8	27	14 2	18 5	31 2	49 3	76 6	1441 4
Desv P	99	136 4	158 7	182 9	140 7	50 5	27 7	24 4	42 6	78 9	104 7	103 2	508 3
Coef V	0 7	0 6	0 5	0 6	0 8	0 8	1	1 7	2 3	2 5	2 1	1 3	0 4

### 4.3 - Estudo de Chuvas Intensas

#### 4.3.1 - Objetivo do Estudo

O presente estudo objetiva proporcionar elementos para a seleção da cheia de projeto com vista ao dimensionamento do sangradouro do Açude Jaburu I. Para tanto estudou-se o regime de chuvas intensas na bacia hidrográfica do referido açude.

#### 4.3.2 - Metodologia Utilizada

Face à inexistência de dados pluviográficos disponíveis na bacia estudada foi aplicada a metodologia do Engenheiro TABORGA - TORRICO<sup>2</sup>, no cálculo das chuvas intensas na bacia.

<sup>2</sup> TABORGA - TORRICO, J. J. Práticas Hidrológicas. Rio de Janeiro, TRANSCON, 1974. 120p.

A metodologia aplicada baseia-se na utilização do método da desagregação regional. Essa metodologia consta dos seguintes procedimentos:

- 1 Estudo probabilístico da chuva intensa de um dia, para cada posto selecionado.
- 2 Determinação da chuva intensa de um dia, na área da bacia, através do método dos polígonos de Thiessen, para os tempos de retorno escolhidos.
- 3 Desagregação da chuva intensa de um dia, na bacia, em chuva intensa de 24h, e
- 4 Desagregação da chuva intensa de 24h, na bacia, em chuvas intensas de durações menores, através do método gráfico de TABORGA - TORRICO

Para a bacia estudada, só foi possível a utilização dos postos pluviométricos Ubajara e Ibiapina, situados dentro da bacia hidrográfica do Açude Jaburu I e possuidores de dados de boa qualidade e ambos com uma série extensa de dados. Assim sendo, procedeu-se da seguinte forma, a fim de obter seus valores máximos de chuva diária:

- 1 Tendo em vista que a ocorrência de valores máximos diários, na região da bacia estudada, somente ocorre nos meses de janeiro a julho de cada ano, não se descartou o ano sem falha nesse período, embora com falha no período de agosto a dezembro.
- 2 Ano com falha em qualquer um dos meses mencionados acima, foi descartado.

A distribuição Log-Pearson III ajustou-se muito bem aos dados de chuva máxima diária dos postos Ubajara e Ibiapina. A aplicação dessa distribuição aos dados dos referidos postos resultou em suas chuvas máximas diárias, para os períodos de retorno de 100, 500, 1 000 e 10 000 anos.

Após obtidas as chuvas máximas diárias, para os períodos de retorno de 100, 500, 1 000 e 10 000 anos, determinou-se a chuva máxima diária na bacia estudada, através da aplicação do método dos polígonos de Thiessen aos postos de Ubajara e Ibiapina.

A desagregação da chuva intensa de 24h foi obtida da multiplicação do fator 1,1 pelo valor da chuva intensa de 1 dia.

Determinadas as chuvas intensas de 24h, a metodologia de TABORGA-TORRICO desagregou-as em chuvas intensas de 1h, através da expressão:

$$P_{1h} = K \times P_{24h} \text{ , onde}$$

K - coeficiente tabelado por TABORGA-TORRICO em função da isozona da bacia estudada.

Finalmente, obtiveram-se as chuvas intensas para outras durações por intermédio da construção de um gráfico, em papel mono-log, onde na ordenada são colocadas as chuvas

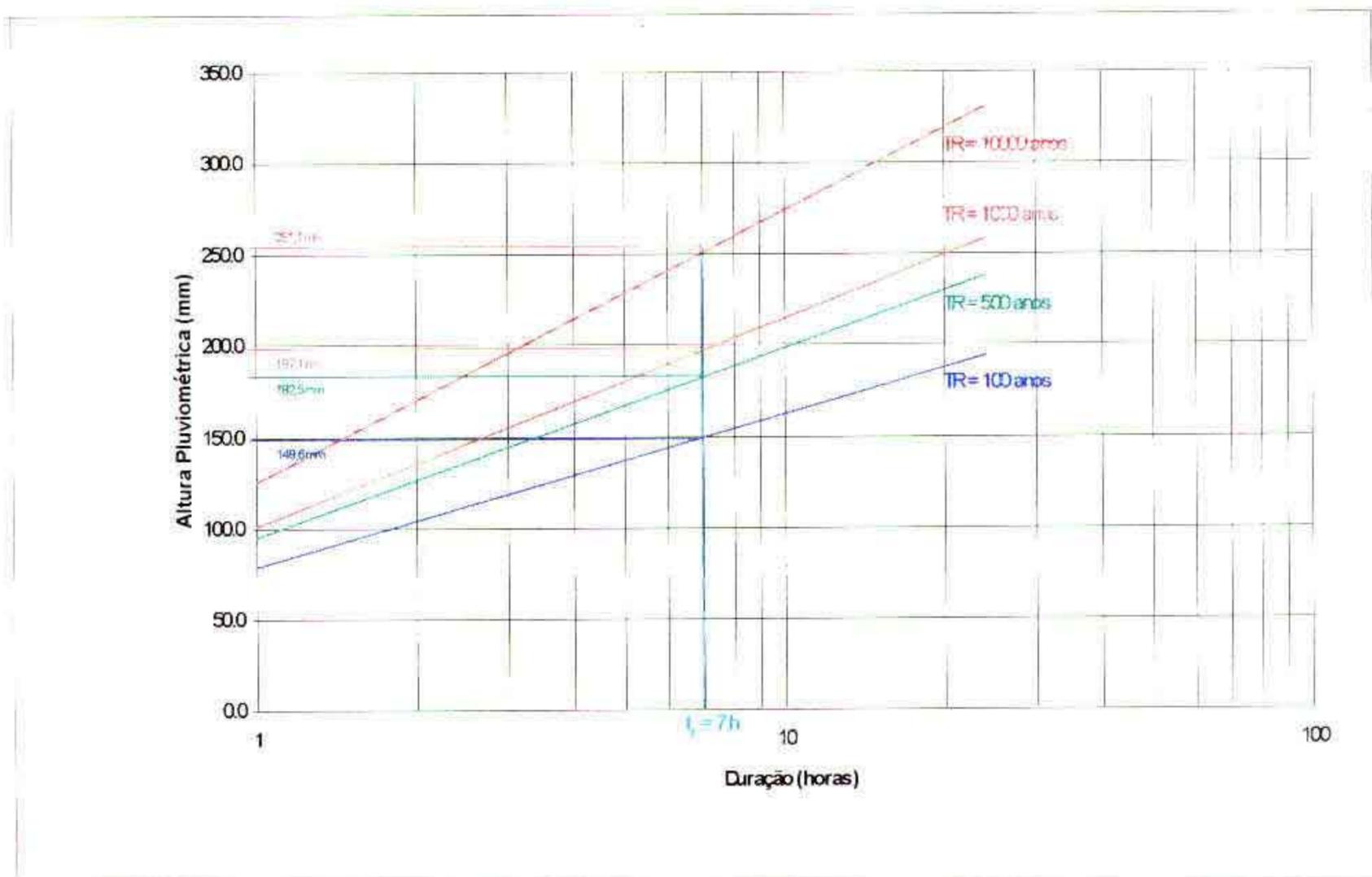
intensas e na abcissa as durações. Colocando as chuvas intensas de 1h e de 24h no referido papel, traçou-se retas unindo essas chuvas intensas, as quais permitiram a obtenção de chuvas intensas de outras durações.

#### 4.3.3 - Chuvas Intensas na Bacia

A aplicação da metodologia de TABORGA-TORRICO resultou na Figura 4.1, a qual permitiu a obtenção das chuvas intensas na bacia, para diversos tempos de retorno e durações utilizados, conforme mostrado na Tabela 4.3.

**Tabela 4.3 - Chuvas Intensas na Bacia do Açude Jaburu I, para Durações de 1 dia, 24 horas e 1 hora**

Tempo de Retorno	$P_{1 \text{ dia}} \text{ (mm)}$	$P_{24 \text{ h}} \text{ (mm)}$	Taborga (Isozona D) $P_{1 \text{ h}} / P_{24 \text{ h}}$	$P_{1 \text{ h}} \text{ (mm)}$
100	177,0	<b>194,7</b>	0,403	<b>78,5</b>
500	216,5	<b>238,2</b>	0,397	<b>94,6</b>
1000	234,6	<b>258,1</b>	0,390	<b>100,7</b>
10000	308,8	<b>330,9</b>	0,378	<b>125,1</b>



**Figura 4.1 - Chuvas intensas na bacia do açude Jaburu I, para diversos tempos de retorno e durações utilizados**

## **ANEXO 4.A**

### **DISPONIBILIDADE DE DADOS DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS UTILIZADOS NO ESTUDO HIDROLÓGICO DO AÇUDE JABURU I**

ANEXO 4.A

DISPONIBILIDADE DE DADOS DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS UTILIZADOS NO ESTUDO HIDROLÓGICO DO AÇUDE  
JABURU I

Numero da Combinação	Ano Inicial	Mês Inicial	Ano Final	Mês Final	nº de Postos	CÓDIGOS DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS					
1912	1	1931	12	12	3	2778406	0 02764	2778714	0 73881	2778825	0 23355
1932	1	1932	12	12	2	2778714	0 76645	2778825	0 23355		
1933	1	1934	12	12	2	2778406	0 02764	2778714	0 97236		
1935	1	1935	12	12	3	2778406	0 02764	2778714	0 73881	2778825	0 23355
1936	1	1936	1	1	2	2778406	0 40133	2778825	0 59867		
1936	2	1936	10	10	3	2778714	0 73881	2778406	0 02764	2778825	0 23355
1936	11	1936	11	11	2	2778714	0 76645	2778825	0 23355		
1936	12	1936	12	12	3	2778714	0 73881	2778406	0 02764	2778825	0 23355
1937	1	1937	12	12	3	2778406	0 02764	2778714	0 73881	2778825	0 23355
1938	1	1944	12	12	3	2778406	0 02764	2778714	0 73881	2778825	0 23355
1945	1	1945	12	12	1	2778825	0 8892				
1946	1	1949	12	12	3	2778406	0 02764	2778714	0 73881	2778825	0 23355
1950	1	1950	9	9	3	2778406	0 02764	2778714	0 73881	2778825	0 23355
1950	10	1950	10	10	2	2778406	0 97236	2778714	0 02764		
1950	11	1950	12	12	3	2778406	0 02764	2778714	0 73881	2778825	0 23355
1951	1	1957	12	12	3	2778406	0 02764	2778714	0 73881	2778825	0 23355
1958	1	1958	11	11	3	2778406	0 02764	2778714	0 73881	2778825	0 23355
1958	12	1958	12	12	2	2778406	0 97236	2778714	0 02764		
1959	1	1961	12	12	3	2778406	0 02764	2778714	0 73881	2778825	0 23355

Numero da Combinação	Ano Inicial	Mês Inicial	Ano Final	Mês Final	nº de Postos	CÓDIGOS DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS											
1962	1	1965	12		4	2778406	0	00363	2778714	0	52471	2778825	0	23355	2777987	0	23811
1966	1	1966	9		4	2778406	0	00363	2778714	0	52471	2778825	0	23355	2777987	0	23811
1966	10	1966	11		2	2778406	0	60842	2777987	0	39158						
1966	12	1966	12		4	2778406	0	00363	2778714	0	52471	2778825	0	23355	2777987	0	23811
1967	1	1976	12		4	2778406	0	00363	2778714	0	52471	2778825	0	23355	2777987	0	23811
1977	1	1977	7		4	2778406	0	00363	2778714	0	52471	2778825	0	23355	2777987	0	23811
1977	8	1977	12		3	2778406	0	02764	2778714	0	73881	2778825	0	23355			
1978	1	1978	12		3	2778406	0	02764	2778714	0	73881	2778825	0	23355			
1979	1	1979	12		4	2778406	0	00363	2778714	0	52471	2778825	0	23355	2777987	0	23811
1980	1	1980	8		4	2778406	0	00363	2778714	0	52471	2778825	0	23355	2777987	0	23811
1980	1	1980	12		3	2778406	0	02764	2778714	0	73881	2778825	0	23355			
1981	1	1981	1		4	2778406	0	00363	2778714	0	52471	2778825	0	23355	2777987	0	23811
1981	2	1981	12		3	2778406	0	02764	2778714	0	73881	2778825	0	23355			
1982	1	1985	12		4	2778406	0	00363	2778714	0	52471	2778825	0	23355	2777987	0	23811
1986	1	1986	6		4	2778406	0	00363	2778714	0	52471	2778825	0	23355	2777987	0	23811
1986	7	1986	12		3	2778406	0	02764	2778714	0	73811	2778825	0	23355			
1987	1	1988	12		2	2778406	0	27949	2777987	0	72051						

## 5 - ESTUDO DOS DEFLÚVIOS

### 5.1 - Dados Existentes

Na bacia do rio Jaburu I não ha estação fluviométrica Assim sendo utilizou-se os dados – obtidos pelo PERH/SRH do Governo do Estado do Ceará - do modelo chuva-deflúvio da bacia do rio Coreau, vizinha à bacia do rio Jaburu I

### 5.2 - Modelo Matemático Chuva-Deflúvio

#### 5.2.1 - Introdução

Com o objetivo de tornar possível a obtenção das vazões mensais, para o período de 1912 a 1988, possibilitando, dessa forma, o estudo de regularização da capacidade de acumulação do açude Jaburu I, resolveu-se fazer uso do modelo matemático chuva-deflúvio, desenvolvido por LANNA e SCHWARZBACH<sup>3</sup> e que recebeu, de seus autores, a denominação MODHAC - Modelo Hidrológico Auto-Calibrável

O modelo MODHAC é utilizado, com razoável sucesso, no Nordeste brasileiro, principalmente no estado do Ceará, onde foi utilizado em todas as suas bacias hidrográficas, quando da realização de seu PERH - Plano Estadual de Recursos Hídricos. É também bastante divulgado entre aqueles que fazem a hidrologia da região nordestina

#### 5.2.2 - Utilização do Modelo MODHAC

O modelo MODHAC, com intervalo de computação diário, tem como característica mais notável, segundo seus próprios autores, a “possibilidade de ter seus parâmetros ajustados automaticamente, produzindo ajustes nas vazões mensais calculadas às vazões mensais observadas” A Figura 5.1 mostra o esquema de funcionamento do modelo MODHAC

---

<sup>3</sup> LANNA, A. E. e SCHWARZBACH, M. MODHAC - Modelo Hidrológico Auto-Calibrável Porto Alegre-RS

54p Recursos Hídricos - Publicação 21 IPH/UFRS 1989

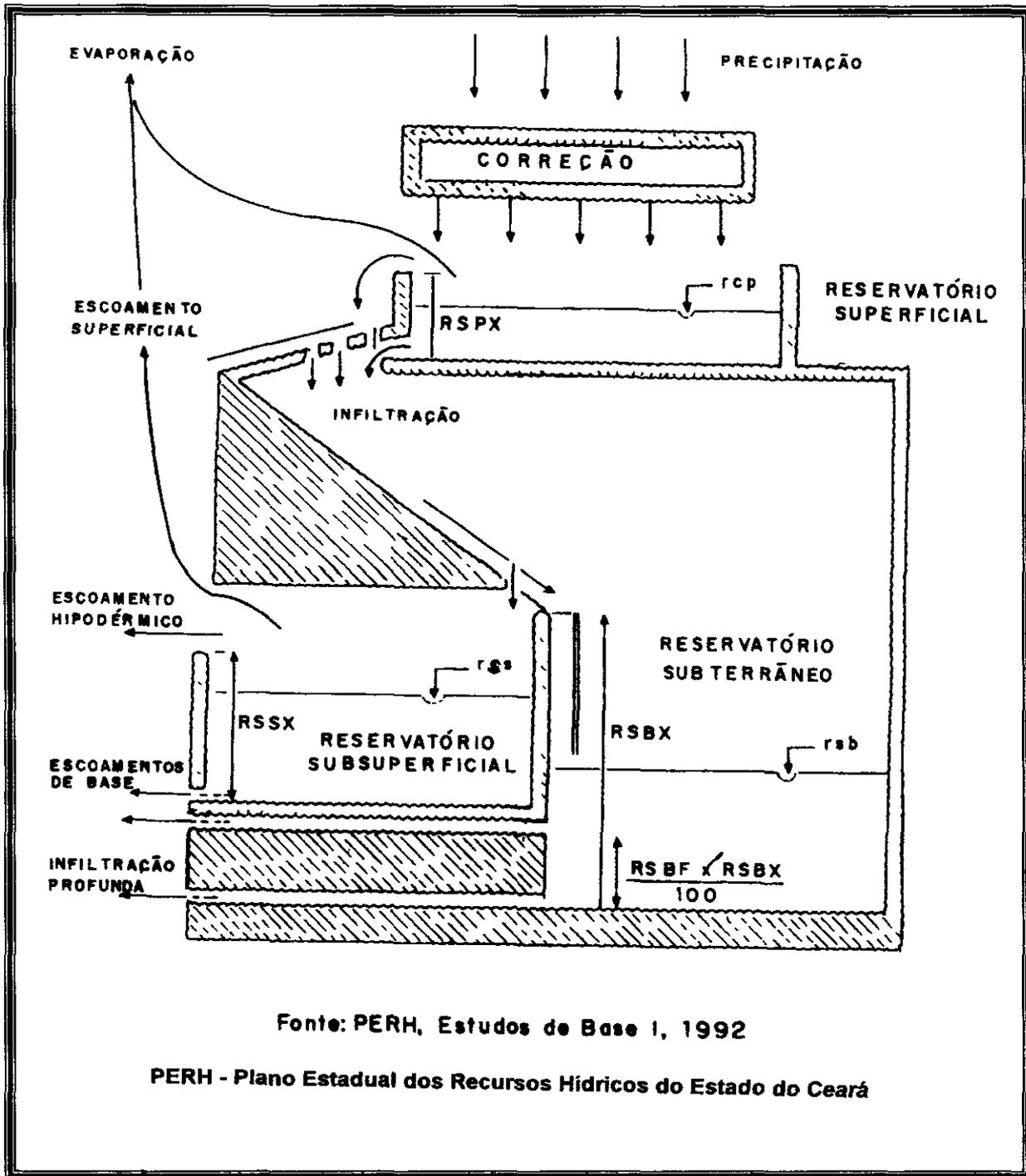


Figura 5.1 - Esquema de funcionamento do modelo MODHAC

Em sua concepção original, o modelo MODHAC possui 14 parâmetros. Esses parâmetros e respectivos significados são os seguintes:

⇒ RSPX é a capacidade máxima do reservatório superficial, sendo função desta o retardo na resposta do escoamento superficial a ocorrência de chuva, representando todas as retenções, inclusive a açudagem difusa.

- ⇒ RSSX e a capacidade máxima do reservatório sub-superficial. Em consequência de estar relacionada com a retenção na zona de atividade radicular dos vegetais, atua sobre as perdas por evapotranspiração e alimentação do escoamento em curtos períodos de estiagem.
- ⇒ RSBX e a capacidade máxima do reservatório subterrâneo. Tomado como nulo no caso de bacias da região semi-árida do Brasil (Formação Cristalina), valores elevados encontram-se nas bacias sedimentares.
- ⇒ IMIN e a infiltração mínima. É utilizado fundamentalmente para transladar os escoamentos no tempo, e seu efeito é semelhante ao parâmetro RSPX.
- ⇒ IMAX e a permeabilidade do solo. Seu valor é proporcional a permeabilidade, em função da heterogeneidade dos solos que compõem a área drenada e das chuvas que ocorrem, esse parâmetro poderá perder o efeito na calibração.
- ⇒ IDEC e o coeficiente de infiltração. Influencia a inter-relação entre os parâmetros IMIN e IMAX.
- ⇒ ASB e o expoente da lei de esvaziamento do reservatório subterrâneo. Entra na calibração apenas no caso de RSBX ser diferente de zero.
- ⇒ CEVA e um parâmetro da lei de evapotranspiração do solo, variando entre 0 e 1. Sua elevação determina maiores perdas por evapotranspiração.
- ⇒ ASP e o expoente da lei de esvaziamento do reservatório superficial,
- ⇒ ASS e o expoente da lei de esvaziamento do reservatório sub-superficial.
- ⇒ TS é o tempo de trânsito do escoamento superficial. Seu valor deverá ser fixado na dependência do tempo de concentração estimado na bacia. Em geral, afeta muito pouco os resultados da simulação quando o intervalo de computação é o diário e o de simulação o mensal.
- ⇒ TB e o tempo de trânsito do escoamento subterrâneo. Os mesmos comentários relativos a TS se aplicam. Normalmente,  $TB \geq TS$ .
- ⇒ PRED e a correção da precipitação. Nos casos em que existe uma boa densidade de pluviômetros na bacia esse parâmetro deverá ser fixado com o valor 999 e não haverá correção da precipitação. Nos outros casos deverá ser verificado se as precipitações medidas sub ou superestimam os valores reais. No caso de superestimativa PRED deverá ser positivo. No outro caso, negativo. Seu ajuste deverá ser conduzido após os parâmetros mais sensíveis, listados previamente, terem sido pre-ajustados e quando for confirmada a hipótese de inconsistência das precipitações medidas, e

⇒ RSBF é o armazenamento mínimo para que ocorra contribuição do reservatório subterrâneo no escoamento na base. Esse parâmetro é dado em porcentagem da capacidade do reservatório subterrâneo. Logo, seu valor varia entre 0 e 100. Ele influencia as simulações de forma idêntica ao parâmetro PRED. de ajuste de chuva, quando este último for positivo. Ou seja, ele diminui os escoamentos da bacia. Seu uso deverá ser cogitado quando houver um excesso de escoamento calculado em conjunto com boa consistência dos dados pluviométricos. O uso efetivo, porém, deve ocorrer quando houver evidências de que a bacia é assentada em subsolo cristalino com relevante sistema de fraturas ou no Karst.

Conforme mencionado acima, a aplicação do modelo utilizado foi efetuada com os valores ótimos dos parâmetros do modelo, pertencentes a vizinha bacia do rio Coreau, conforme apresentado na Tabela 5.1.

**TABELA 5.1**

**Valores ótimos da calibração do modelo MODHAC, aplicado à bacia hidrográfica do Açude Jaburu I**

<b>PARÂMETROS DO MODELO</b>	<b>VALORES ÓTIMOS</b>
RSPX	232,2
RSSX	262,2
RSBX	142,8
RSBF	0
IMAX	43,77
IMIN	8,16
IDEC	0,1609
ASP	0,001
ASS	0,0043
ASB	0,004
CEVA	0,9898

Na aplicação do modelo, utilizou-se como evapotranspiração potencial, os valores ponderados diários das evapotranspirações potenciais de HARGREAVES, da estação meteorológica de Guaramiranga. Os valores utilizados são apresentados na Tabela 5.2.

TABELA. 5.2

Valores médios diários de evapotranspiração potencial de Hargreaves

VARIÁVEL	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
ETP(mm)	3,5	3,0	2,6	2,6	3,1	2,5	2,7	3,3	3,9	3,5	3,9	2,9

### 5.3 - Volumes Mensais Afluentes

A aplicação do modelo MODHAC à bacia hidrográfica do açude Jaburu I produziu seus volumes afluentes, cujos valores mensais e anuais estão apresentados na Tabela 5.3

Na Tabela 5.3 estão apresentados também a estatística dos volumes afluentes gerados pelo modelo MODHAC, onde se observa que o volume médio afluente do açude Jaburu I foi de 176,6 hm<sup>3</sup>, com coeficiente de variação de 0,7

TABELA 5.3

Volumes afluentes mensais e anuais (hm<sup>3</sup>) ao açude Jaburu I e respectivos parâmetros estatísticos mais importantes

ANO	MESES												ANUAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1912	0	5,2	23,3	153,1	224,5	14,9	13,7	12,2	10,5	6,9	2,9	2,5	469,7
1913	2,2	1,8	62,2	81,2	72,6	21,4	14,8	13,2	11,3	8,5	3,7	2,7	295,6
1914	2,4	7	17,6	50,6	26,4	14,7	15,8	13,8	12	10,1	5,4	3	178,7
1915	2,6	2,2	2,1	1,9	1,9	1,7	1,6	1,2	1	0,9	0,8	0,8	18,7
1916	0,7	3,5	15,8	33,2	38,4	14	13	11,6	8,7	4	2,6	2,4	147,8
1917	2,1	10,1	102,5	81,8	95,8	23,4	14,2	12,6	9,4	4,6	2,8	2,6	362,1
1918	2,4	4	13,5	18	92,7	37	14,7	13	10,5	5,7	2,9	2,7	216,9
1919	2,3	1,9	1,9	1,8	1,8	1,6	1,3	1,1	0,9	0,8	0,7	0,7	16,9
1920	0,6	0,5	4,2	19,2	14,5	15,2	13,2	11,8	9,6	5	2,8	2,6	99
1921	2,3	4,9	33,7	80,4	96,1	44,5	14,4	12,8	10,9	7,4	3,2	2,6	313,2
1922	2,3	1,9	8,2	58,6	55,4	15,3	14,6	13	10,9	6,4	3	2,7	192,3
1923	2,4	8,5	20	81,5	15,7	13,6	12,6	11,1	7,6	3,3	2,5	2,3	181,2
1924	2	5,3	29,7	135,1	92,4	36,4	15,2	13,5	10,6	5,8	3	2,8	351,8
1925	2,5	4,2	39	160,9	57,1	14,2	13,1	11,6	8	3,6	2,6	2,4	319,2
1926	2,1	8,3	55	146,3	42,5	14,6	13,4	11,6	6,5	3,1	2,6	2,4	308,4
1927	2,1	1,8	15,3	144,4	30,1	14	12,9	11,5	7,3	3,3	2,6	2,4	247,7
1928	2,1	1,8	1,8	18,4	7,7	6,8	6,4	5,4	3,2	2,9	2,5	2,3	61,2
1929	2	6,4	133,7	132,3	63,7	22,2	15,5	13,7	11,2	6,3	3,1	2,8	413

**CONSÓRCIO  
GEODINÂMICA/COBA**

ANO	MESES												ANUAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1930	25	49	122	197	146	158	143	127	93	45	3	27	1162
1931	24	2	137	159	14	12	11	91	43	29	25	23	92
1932	2	17	202	47	45	4	38	27	2	19	16	15	507
1933	13	11	68	753	18	14	128	98	45	29	25	23	1513
1934	21	221	1173	855	1267	157	143	126	85	39	28	26	414
1935	24	244	543	1616	781	149	138	122	87	42	27	25	3797
1936	23	73	91	289	143	123	114	101	66	32	27	24	1104
1937	22	45	148	476	529	216	148	132	104	61	3	27	1937
1938	24	2	79	63	162	14	129	113	68	31	25	23	1443
1939	21	68	294	595	209	142	132	117	10	66	33	25	180
1940	22	19	181	1309	59	571	148	132	106	57	29	27	3192
1941	24	19	69	193	215	142	13	115	7	32	26	24	1058
1942	21	17	21	59	5	45	43	34	24	22	19	17	37
1943	15	13	6	16	153	13	121	108	84	4	27	25	937
1944	22	19	91	135	333	151	139	123	88	4	27	25	1193
1945	74	279	631	674	474	144	134	119	94	53	26	24	2726
1946	115	148	584	805	188	145	137	122	93	45	29	26	2437
1947	24	47	238	1102	798	142	131	116	74	33	26	25	2755
1948	24	76	128	15	162	138	128	114	95	54	26	24	112
1949	21	18	81	131	137	119	111	99	8	4	26	24	888
1950	21	24	194	1079	174	148	136	119	72	33	27	25	2052
1951	22	18	19	41	68	75	68	62	46	33	28	26	507
1952	23	19	31	103	105	91	85	69	35	3	26	24	64
1953	21	17	17	9	86	75	7	52	31	29	25	23	536
1954	2	2	153	134	19	147	136	121	81	37	28	25	1091
1955	22	64	344	1328	38	143	132	113	63	31	26	24	2669
1956	21	27	567	881	164	138	127	112	71	32	25	23	2189
1957	21	18	52	454	367	147	136	12	88	4	27	25	1494
1958	22	18	19	17	17	16	16	11	09	08	07	06	167
1959	06	36	175	28	477	144	134	119	10	57	27	25	1581
1960	22	19	115	149	158	132	121	108	75	33	25	23	979
1961	2	522	1007	991	405	142	131	116	82	36	26	24	3502
1962	21	3	136	168	167	142	131	116	84	38	26	24	1083
1963	21	18	601	95	188	139	128	107	55	29	25	23	2285
1964	21	327	408	1421	869	152	14	125	98	5	28	25	3665
1965	22	18	71	857	687	287	152	135	11	8	37	28	2484
1966	24	2	21	59	66	57	54	49	35	28	24	22	461
1967	2	16	114	53	996	148	136	121	98	53	27	25	2284
1968	22	18	39	114	412	147	136	12	74	34	27	25	1167
1969	22	18	29	149	122	107	115	102	88	56	3	28	865
1970	25	2	21	58	61	51	48	43	28	25	22	2	422
1971	18	15	71	218	57	265	144	129	108	68	33	26	1664

CONSÓRCIO  
GEODINÂMICA/COBA

ANO	MESES												ANUAL
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	
1972	23	19	19	54	9	75	73	66	53	33	29	26	562
1973	24	51	206	1538	718	337	161	148	128	112	59	31	3513
1974	45	156	1366	2405	1267	157	148	132	113	88	42	27	5946
1975	24	2	156	142	867	153	152	136	117	91	4	29	1927
1976	27	42	82	177	148	129	119	105	67	32	25	22	975
1977	2	17	57	125	147	128	139	116	98	58	3	28	963
1978	25	21	22	96	126	96	89	8	67	35	26	24	706
1979	21	17	18	16	44	39	38	35	23	21	18	16	307
1980	14	22	111	73	7	62	58	45	28	44	132	97	754
1981	88	75	72	61	36	24	22	2	17	16	28	73	534
1982	54	45	45	36	26	22	2	18	16	14	14	22	332
1983	41	34	35	3	22	19	17	16	13	12	11	12	264
1984	12	1	07	06	06	05	05	04	04	04	3	194	287
1985	939	148	142	122	107	66	35	26	22	12	497	1195	342
1986	844	214	152	131	121	101	67	33	27	28	173	1283	3174
1987	465	247	15	13	12	95	61	4	25	23	19	19	1396
1988	19	15	13	11	1	09	08	07	06	06	06	92	202
Média	53	61	228	514	359	14	108	95	7	43	36	6	1766
Desv P	148	86	303	543	389	96	46	42	34	23	58	195	1269
Coef V	28	14	13	11	11	07	04	04	05	05	16	33	07

## 6 - ESTUDO DA CHEIA DE PROJETO

### 6.1 - Introdução

A segurança e economia de um açude esta diretamente relacionada com a obtenção da cheia de projeto, a qual permitira o dimensionamento adequado de seu sangradouro. Em açudes de grande porte - tipo Castanhão ou Orós, no Estado do Ceará - onde há o perigo de grandes prejuizos e de perdas humanas, geralmente utilizam-se as cheias máximas prováveis ou decamilenares. Em açudes de médio porte é bastante a cheia milenar, enquanto que naqueles de pequeno porte e comum utilizar-se a cheia centenaria.

### 6.2 - Metodologia Utilizada

A inexistência de serie de dados fluviográficos de boa qualidade e de razoável extensão, torna inexoravel a utilização de métodos indiretos na determinação da cheia de projeto do açude estudado.

Adotar-se-a, no presente estudo, a metodologia indireta do Soil Conservation Service<sup>4</sup> (SCS) a qual se baseia em seu hidrograma unitário triangular e no parâmetro CN ("Curve Number"). Esse parâmetro CN representa o complexo solo-vegetação e seu relacionamento com a potencialidade da bacia na formação de picos de cheias.

Para a bacia do açude Jaburu I, obteve-se o valor CN igual a 74.

### 6.3 - Hidrograma Unitário Triangular do SCS

Para a obtenção do Hidrograma Unitário Triangular - HUT - , é necessaria a determinação do tempo de concentração da bacia estudada,  $t_c$ , o que foi obtido pela fórmula de Kirpich

$$t_c = 0,00032 \times L^{1,155} / H^{0,385} = 0,00032 \times 36389^{1,155} / 245^{0,385} \cong 7,0 \text{ horas}$$

onde

$t_c$  - tempo de concentração, em horas.

L - comprimento do curso curso d'agua principal, em m, e

H - desnível entre as cotas da cabeceira e do exutório da bacia, em m

<sup>4</sup> USDA Soil Conservation Service National Engineering Handbook, Section 4 Hydrology  
Washington, D C  
1985

Uma verificação razoável para a coerência do valor do  $t_c$  calculado, pode ser obtida pela comparação entre as velocidades médias determinadas diretamente e por intermédio da expressão de Manning, considerando o curso d'água como um canal retangular muito largo e  $n$  de Manning igual a 0,055, o qual se aproxima bem das condições do local da barragem do açude Jaburu I. Assim sendo, obteve-se o seguinte resultado

$$V_{\text{diretamente}} = \frac{L_{\text{curso d'água principal}}(\text{m})}{t_c (\text{h}) \times 3600} = \frac{36389}{7,0 \times 3600} = 1,44 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{Manning}} = 1/n \times R_h^{2/3} \times D^{1/2} = 1/0,055 \times 1^{2/3} \times 0,00597^{1/2} = 1,40 \text{ m/s}$$

Pela comparação das velocidades médias calculadas, vê-se que o cálculo do  $t_c$ , para a bacia estudada, mostra-se bastante satisfatório

Apos o calculo do tempo de concentração -  $t_c$ , em horas, foram determinados os três parâmetros básicos do HUT do SCS, quais sejam

$$t_r = 0,133 \times t_c = 0,133 \times 7,0 \cong \underline{0,9 \text{ horas}}$$

$$t_p = 0,5 \times t_r + 0,6 \times t_c = 0,5 \times 1,0 + 0,6 \times 7,0 \cong \underline{4,6 \text{ horas}}$$

$$K_b = 2,667 \times t_p = 2,667 \times 4,6 \cong \underline{12,3 \text{ horas}}$$

$$Q_p = \frac{0,2081 \times A_{\text{bacia}} \times 1 \text{mm}}{t_p} = \frac{0,2081 \times 315,51}{4,6} \cong \underline{14,27 \text{ m}^3/\text{s}}$$

onde

$t_r$  - duração da chuva efetiva unitária do HUT, em horas.

$t_p$  - tempo decorrido ate a vazão de pico do HUT,  $Q_p$ , em horas,

$t_b$  - tempo de base do HUT, em horas, e

$Q_p$  - vazão de pico correspondente à chuva efetiva unitária de 1cm, em  $\text{m}^3/\text{s}$

Na Figura 6.1 e mostrado o HUT de 0,9 horas do SCS, para o caso da bacia do açude Jaburu I

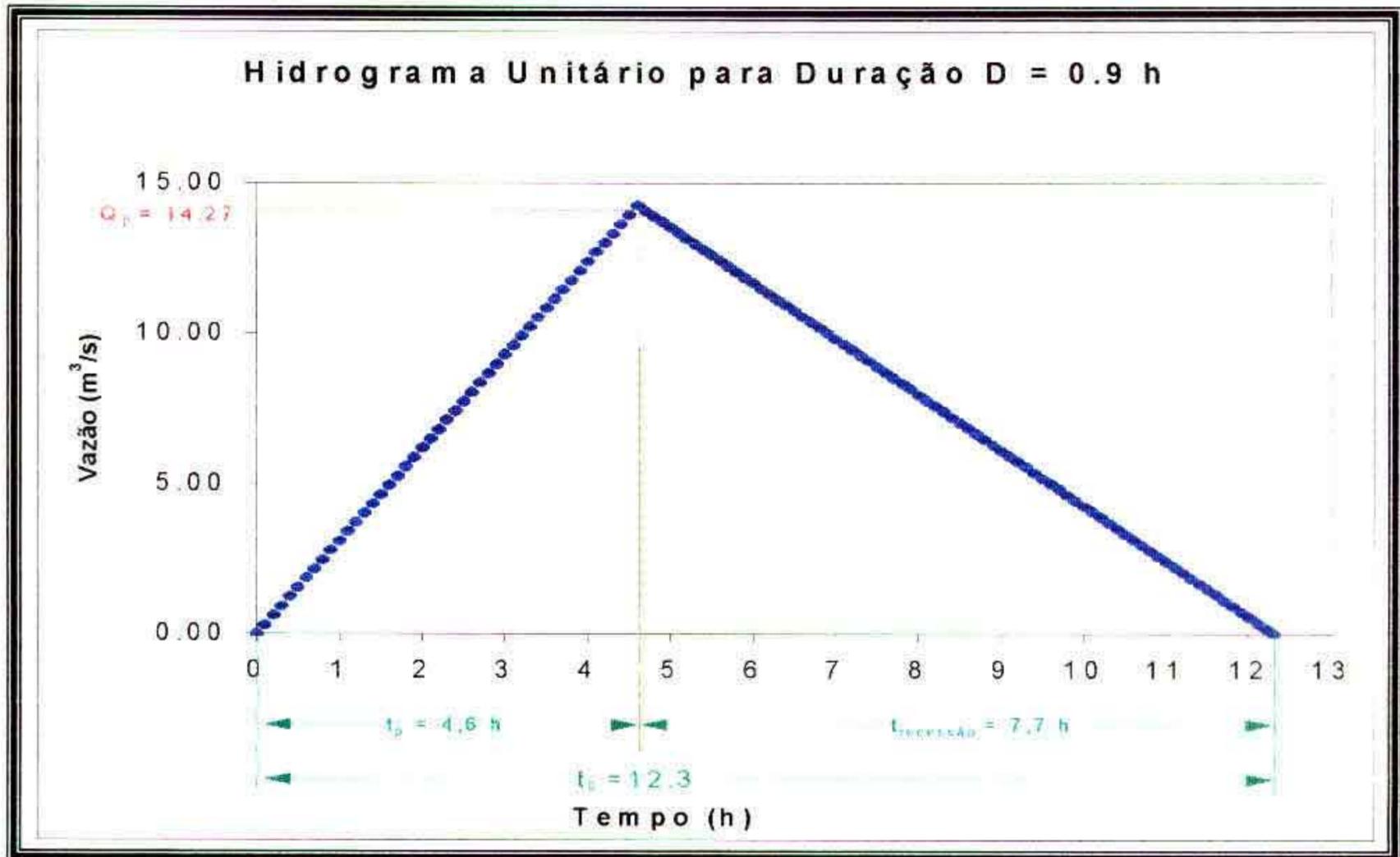


Figura 6.1 - Hidrograma unitário triangular do SCS para duração de 1,1 horas

#### 6.4 - Hidrogramas das Cheias de Projeto

Para a obtenção dos hidrogramas das cheias de projeto, correspondentes aos tempos de retorno de 100, 500, 1.000 e 10.000 anos, tornou-se necessário, inicialmente, a determinação do HUT com duração igual àquela do tempo de concentração da bacia estudada —  $t_c = 7,0$  horas — . Essa duração foi considerada como a duração das cheias de projeto.

Utilizando a metodologia da curva “S”, cujo resultado é apresentado na Figura 6.2, foi obtido o hidrograma unitário com duração  $t_c = 7,0$  horas, para a bacia do açude Jaburu I. A Figura 6.3 apresenta o hidrograma unitário de duração  $t_c = 7,0$  horas, para a referida bacia.

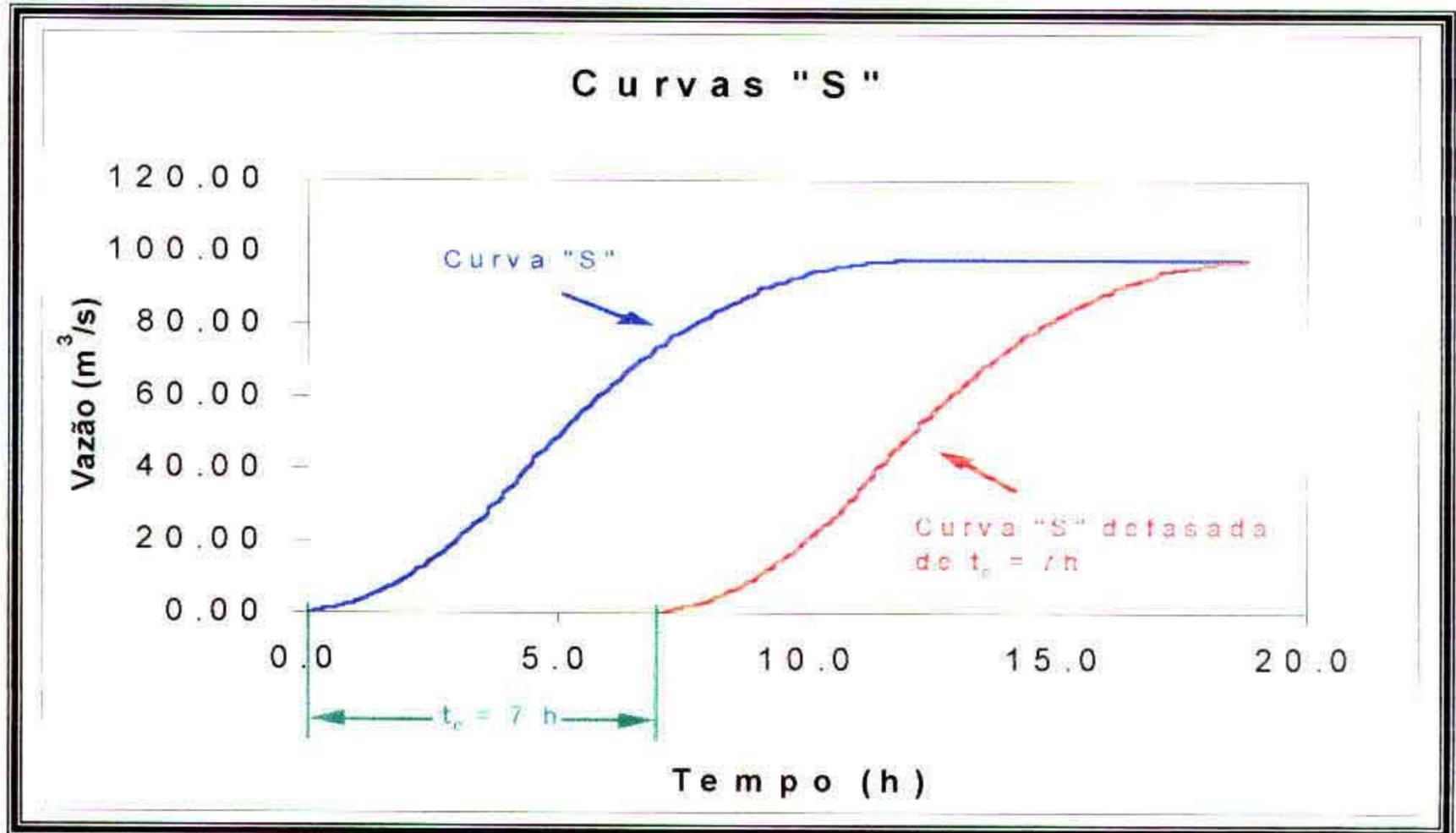


Figura 6.2 - Curvas "S" para a obtenção do HU de 8 horas da bacia do açude Jaburu I

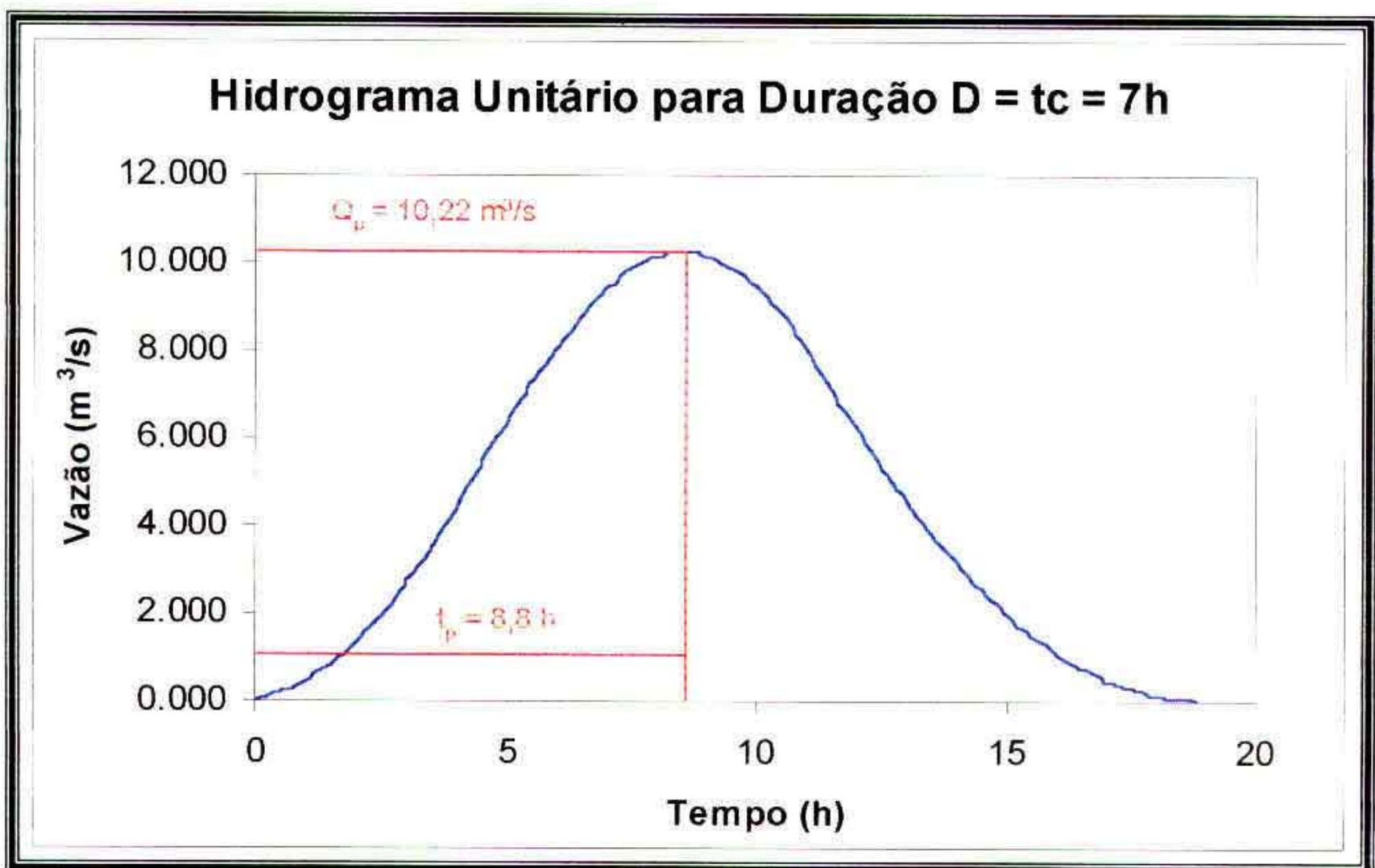


Figura 6.3 - Hidrograma unitário de 7,0 horas de duração da bacia do açude Jaburu I

Apos obtido o hidrograma unitario da bacia estudada, com duração de 7.0 horas, procedeu-se a determinação dos hidrogramas das cheias de projeto

A determinação das cheias de projeto são determinadas a partir das chuvas intensas efetivas de duração de 7.0 horas com periodos de retorno de 100, 500, 1 000 e 10 000 anos

Atraves da Figura 4.1, apresentada no item 4, foram obtidas as chuvas intensas na bacia estudada, para duração de 7.0 horas, conforme mostrado na Tabela 6.1

**TABELA 6.1**

**Chuvas intensas na bacia do açude Jaburu I, com duração de 7.0 horas para tempos de retorno de 100, 500, 1.000 e 10.000 anos**

Tempo de Retorno(anos)	Chuva Intensa na Bacia para Duração de 7,0 horas (mm)
100	149,6
500	182,5
1 000	197,1
10 000	255,1

As chuvas intensas efetivas na bacia foram obtidas através da equação do SCS, em unidades do SI

$$P_{efetiva} = \frac{[ P - (5080/CN) - 50,8 ]^2}{[ P + (20320/CN) - 203,2 ]}$$

onde

- $P_{efetiva}$  - chuva intensa efetiva na bacia, em mm,
- $P$  - chuva intensa na bacia, em mm. e
- CN - parâmetro CN - "Curve Number" - do SCS

Com o CN = 74 - obtido anteriormente - da bacia estudada, obteve-se as chuvas intensas efetivas para os tempos de retorno escolhidos. Os valores das chuvas intensas e chuvas intensas efetivas da bacia, com duração de 7.0 horas e para os tempos de retorno de 100, 500, 1 000 e 10 000 anos são apresentados na Tabela 6.2

**TABELA 6.2**

**Curvas intensas e chuvas intensas efetivas na bacia do açude Jaburu I, para duração de 7,0 horas e diversos tempos de retorno**

Tempo de Retorno (Anos)	Precipitação Máxima (mm)	Precipitação Efetiva (mm)
100	149,6	78,5
500	182,5	106,8
1000	197,1	119,7
10000	255,1	172,4

Aplicando as chuvas intensas efetivas calculadas no H U de 7.0 horas de duração da bacia, obtiveram-se os hidrogramas das cheias de projeto, para os tempos de retorno de 100, 500, 1 000 e 10 000 anos, conforme mostrados na Figura 6 4

Na Tabela 6 3 são apresentadas as vazões de pico dos hidrogramas das cheias de projeto, para os tempos de retorno de 100, 500, 1 000 e 10 000 anos

**TABELA 6.3**

**Vazões de pico dos hidrogramas das cheias de projeto para os tempos de retorno de 100, 500, 1.000 e 10.000 anos**

Tempo de Retorno(anos)	Vazões de Pico dos Hidrogramas das Cheias de Projeto (m <sup>3</sup> /s)
100	802,51
500	1091,82
1 000	1223,69
10 000	1762,45

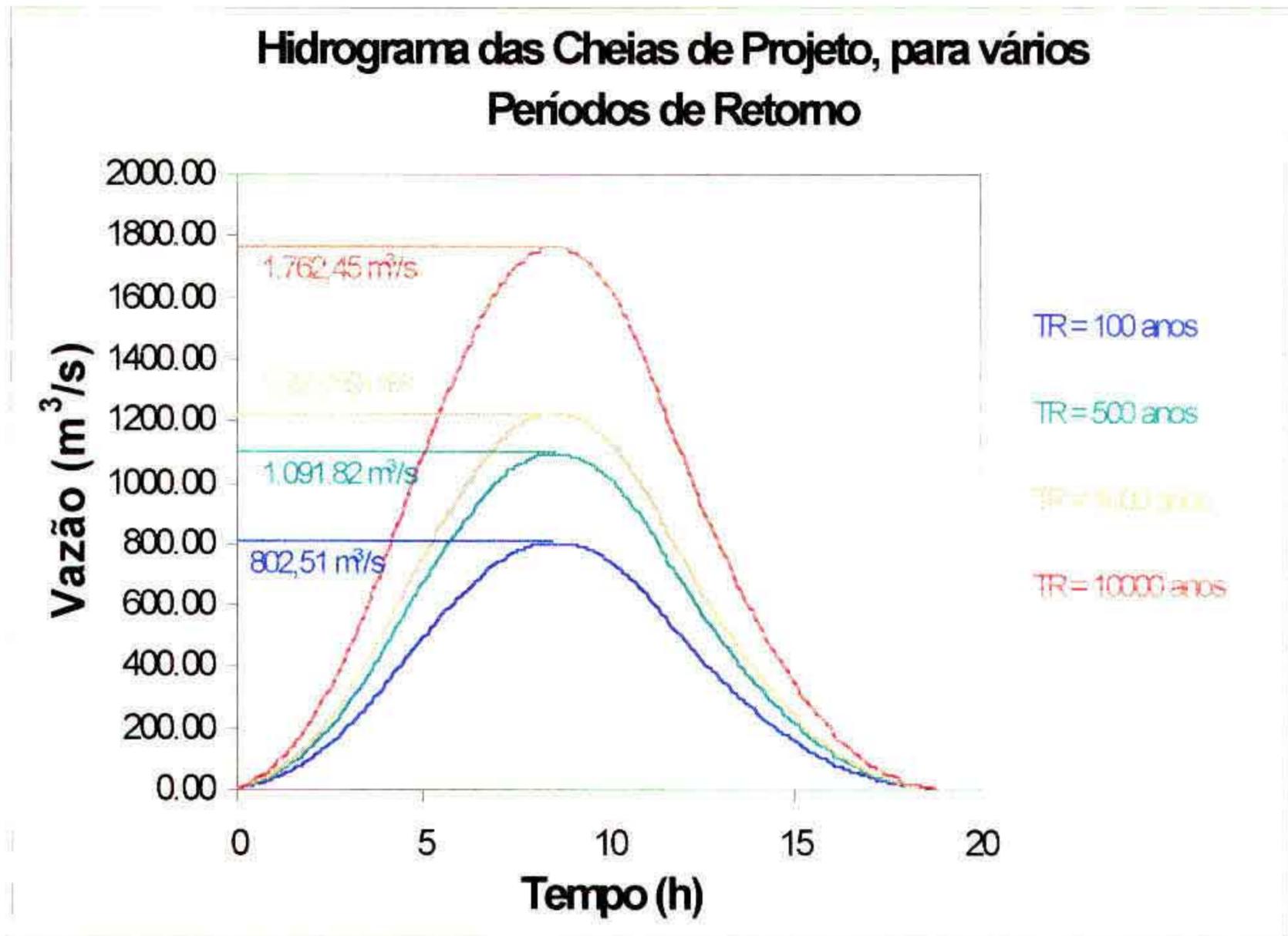


Figura 6.4 - Hidrogramas das cheias de projeto, para vários tempos de retorno.

## 7 – DADOS DA BACIA HIDRÁULICA DO ACUDE

A seguir apresentamos os dados referentes as curvas cota x area e volume do reservatorio do açude Jaburu

COTA (m)	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	VOLUME (hm <sup>3</sup> )
675	0	0
680	0,07	0,17
685	0,20	0,83
690	0,99	3,80
695	1,65	10,40
700	3,19	22,50
705	5,29	43,70
710	7,39	75,40
715	9,43	117,46
720	11,54	169,90
723 08	14,50	210,0