

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 CAUHIPE

TOMO I RELATÓRIO DOS ESTUDOS BÁSICOS

VOLUME 1 HIDROLOGIA

KL Serviços e Engenharia Ltda

FORTALEZA
SETEMBRO DE 1996

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 CAUHIPE

TOMO I - RELATÓRIO DOS ESTUDOS BÁSICOS

VOLUME 1 - HIDROLOGIA

Lote 02160 - Prep () Scan () Index ()

Projeto Nº 0197/01/01

Volume _____

Qtd A4 79 colar = 10 Qtd A3 _____

Qtd A2 _____ Qtd A1 _____

Qtd A0 _____ Outros _____



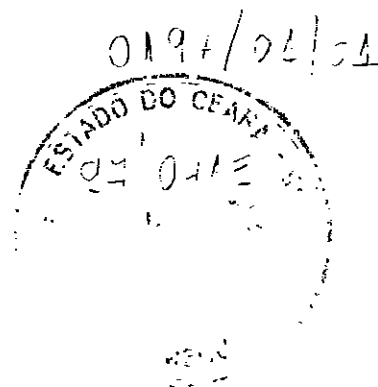
KL - SERVIÇOS E ENGENHARIA LTDA.

AV. SENADOR VIRGÍLIO TAVORA, 1701 SALAS 100 - 100
FONE: 331 8744/331 9728 FAX: 331 4728
33117-114 (114) 3344/1117-87 11411-114 (114) 3344
FORTALEZA - CEARÁ

FORTALEZA
DEZEMBRO / 96

0197/01/01

ex.1



ÍNDICE

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	6
1 - INTRODUÇÃO.....	8
2 - CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA	11
2.1 - PRINCIPAIS PARÂMETROS	11
2.1.1 - Temperatura	11
2.1.2 - Umidade Relativa.....	13
2.1.3 - Insolação Média	14
2.1.4 - Ventos	15
2.1.5 - Evaporação Média	16
2.1.6 - Evapotranspiração	18
2.2 - BALANÇO HÍDRICO	19
2.3 - CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA	20
2.3.1 - Classificação segundo Thornthwaite	20
2.4 - SINOPSE CLIMATOLÓGICA.. ..	21
3 - ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS	23
3.1 - DADOS UTILIZADOS.. ..	23
3.2 - CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO.....	24
3.2.1 - Nível Anual.....	24
3.2.2 - Nível Mensal	27
3.2.3 - Nível Diário	28
3.2.3 - Estudos de Chuvas Intensas	29
4 - ESTUDO DE DEFLÚVIOS.....	33
4.1 - METODOLOGIA	33
4.2 - DADOS UTILIZADOS	36
4.2.1 - Pluviometria	37
4.2.2 - Evapotranspiração	43
4.2.3 - Fluviometria.....	43

4.3 - AJUSTE DO MODELO...	44
4.4 - SIMULAÇÃO DA SÉRIE DE VAZÕES.	48
5 - ESTUDO DAS CHEIAS DE PROJETO.....	53
5 1 - METODOLOGIA	53
5.1.1 - Precipitação.....	55
5.1.2 - Precipitação Efetiva	56
5.1.3 - Hidrograma Unitário.....	60
5 2 - RESULTADOS	60
6 - DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO.....	63
6.1 - INTRODUÇÃO.....	63
6 2 - METODOLOGIA	63
6.2.1 - Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico.....	64
6.2.2 - O Diagrama Triangular de Regularização	66
6.2.3 - Simulação com a Série Afluente do MODHAC - Programa Opera	67
6 3 - RESULTADOS	68
7 - DIMENSIONAMENTO DO SANGRADOURO.....	74
7.1 - PROPAGAÇÃO DA CHEIA NO RESERVATÓRIO.....	74
7 2 - RESULTADOS	77
8 - ESTUDOS COMPLEMENTARES	83
8 1 - INTRODUÇÃO.....	83
8 2 - ESTUDO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA.	83

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O Projeto da Barragem Cauhipe, está sendo elaborado para a COGERH, pela Empresa KL - Serviços e Engenharia Ltda. Os trabalhos previstos serão realizados em duas fases

FASE A: Consiste no diagnóstico e anteprojeto, compreendendo.

- Elaboração dos estudos Preliminares;
- Elaboração dos Estudos Básicos;
- Elaboração do Estudo de Concepção Geral das Obras do Barramento.

FASE B. Consiste no detalhamento do Projeto a nível executivo.

No final da Fase A, que agora se encontra, estão sendo apresentados os Tomos I e II, compreendendo:

TOMO I - Relatório dos estudos Básicos

Volume 1 - Hidrologia

Volume 2 - Topografia

Volume 2A - Textos

Volume 2B - Desenhos

Volume 3 - Geotecnia

TOMO II - Relatório de Concepção Geral das Obras do Barramento

Neste volume (Tomo I - Volume 1) estão sendo apresentados os resultados dos Estudos Hidrológicos

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

Os Estudos Hidrológicos do Açude Cauhape objetivaram fornecer os elementos hidrológicos para o dimensionamento do reservatório e das estruturas hidráulicas de descarga da 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, coletou-se e analisou-se as informações de 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 fluviométricos observados. A estação de Sítios Novos, no rio São Gonçalo, 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 metodologia baseada no método do SCS (Soil Conservation Service)

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 m³ regularizado para cada alternativa. Essa curva foi elaborada para o parâmetro de 90% de atendimento à demanda. Além disto, também foi determinada a vazão regularizada com 90% de garantia considerando volume de alerta.

Escolhida a dimensão do açude, 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, 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

2 - CARACTERIZAÇÃO CLIMATOLÓGICA

A abordagem da climatologia aqui desenvolvida visa dar subsídios as etapas subsequentes dos estudos realizados na bacia do Cauhipe, principalmente àquelas relacionadas ao aproveitamento dos seus recursos hídricos.

A bacia do Rio Cauhipe drena uma área de 94,00 km² no local a ser barrado. A referida bacia não tem localizada em seus domínios nenhuma estação hidroclimatológica, sendo por isso utilizada como estação representativa a de Fortaleza, com denominação homônima de sua localidade (INEMET, 1991)¹.

2.1 - PRINCIPAIS PARÂMETROS

2.1.1 - Temperatura

A distribuição temporal das temperaturas diárias mostra pequenas variações para os três pontos discretos de monitoramento (12:00, 18:00 e 24:00 TMG - Tempo Médio de Greenwich), 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 nas estações meteorológicas T_{12} e T_{24} TMG, T_{MAX} e T_{MIN} do dia, pela seguinte fórmula estabelecida pela OMM (Organização Meteorológica Mundial):

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

¹INEMET, 1991. INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROCLIMATOLÓGICAS.

onde,

T_{comp} - Temperatura média compensada

T_{12} - Temperatura observada às 12:00 TMG

T_{24} - Temperatura observada às 24:00 TMG

T_{MAX} - Temperatura máxima do dia

T_{MIN} - Temperatura mínima do dia

A temperatura compensada apresenta uma pequena variação de 1,6 °C, isso para os meses de julho (25,7 °C), dezembro e janeiro (27,3 °C). As médias máximas e mínimas extremas ocorrem respectivamente nos meses de novembro e dezembro (30,7 °C) e Junho (22,1 °C), conforme se observa no Quadro 2.1 e Figura 2.1.

Quadro 2 1 - Temperaturas Máximas, Mínimas e Compensadas (°C) na estação de Fortaleza

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
Máxima	30,5	30,1	29,7	29,7	29,1	29,6	29,5	29,1	29,2	30,5	30,7	30,7	29,9
Comp	27,3	26,7	26,3	26,5	26,3	25,9	25,7	26,1	26,6	27,0	27,2	27,3	26,6
Mínima	24,7	23,2	23,8	23,4	23,4	22,1	21,8	22,8	23,4	24,5	24,4	24,6	23,5

FONTE INEMET (1991)²

² INEMET, 1992, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990), Brasília, Brasil.

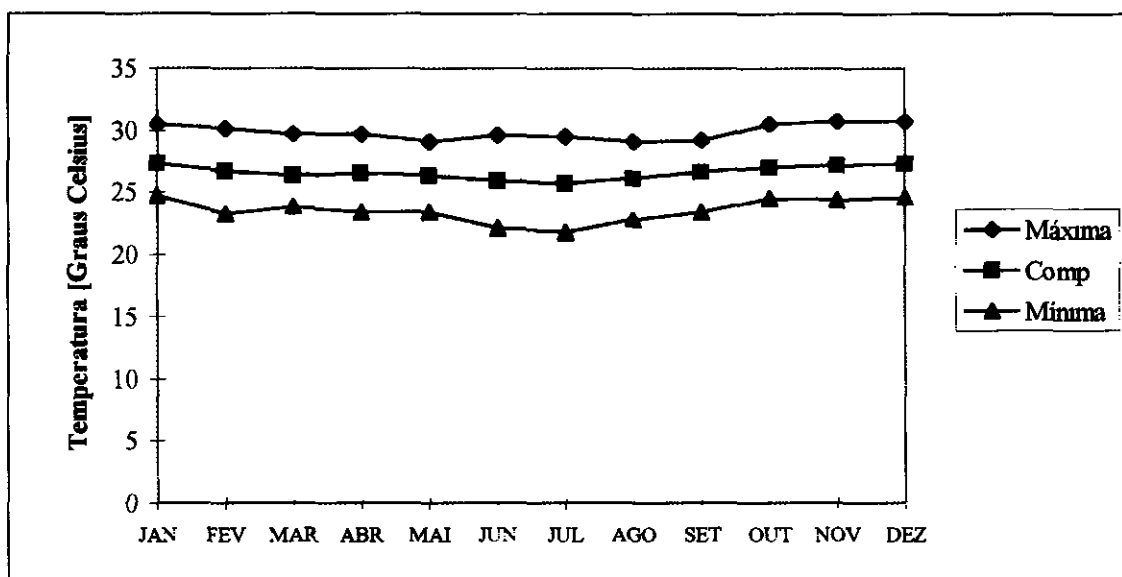


Figura 2.1-Temperaturas Máximas, Mínimas e Médias Compensadas na estação de Fortaleza

2.1.2 - Umidade Relativa

A umidade relativa média apresenta uma variação máxima de 12% referente aos meses de Abril (85%) e Outubro (73%), como pode-se verificar no Quadro 2.2 e Figura 2.2

Quadro 2.2 - Umidade Relativa na estação de Fortaleza

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
%	78	79	84	85	82	80	80	75	74	73	74	76	78,3

FONTE INEMET (1991)³

³ INEMET, 1992, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990), Brasília, Brasil.

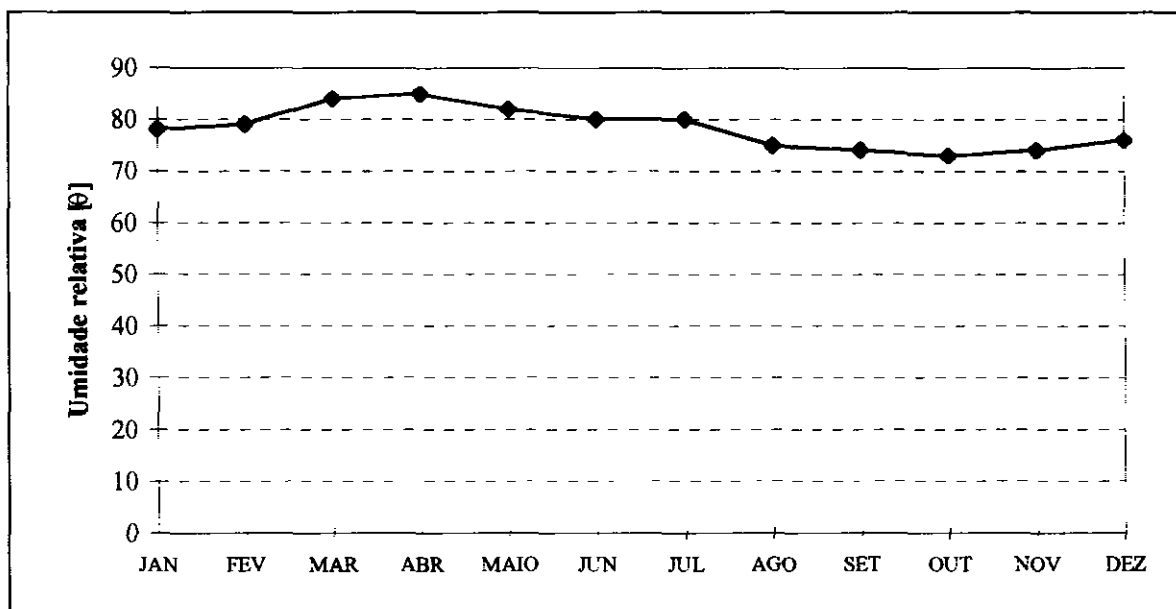


Figura 2.2 - Umidade Relativa na estação de Fortaleza

Os índices de umidade medidos resultam de uma composição de efeitos climatológicos, levando-se em conta, entre estes, a pluviometria que se constitui como o principal componente do fenômeno. Assim, considerando-se a inexistência de outras estações hidroclimatológicas nas proximidades da área de estudo, a umidade é resultante da homogeneidade pluviométrica, além das pequenas oscilações dos demais parâmetros influentes.

2.1.3 - Insolação Média

O Quadro 2.3 e a Figura 2.3 mostram, respectivamente, o número de horas de exposição no local da estação de Fortaleza e sua distribuição mensal. Em termos anuais, no mesmo período, tem-se 2694 horas de exposição, podendo-se concluir de maneira aproximada que cerca de 62% dos dias do ano possuem incidência solar direta. O trimestre fevereiro/março/abril, apresenta os menores valores mostrando estreita relação com o trimestre mais chuvoso.

Quadro 2.3 - Insolação Média na estação de Fortaleza

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
horas	216	175	148	153	209	240	263	169	283	296	283	257	2694,3

FONTE INEMET (1991)⁴

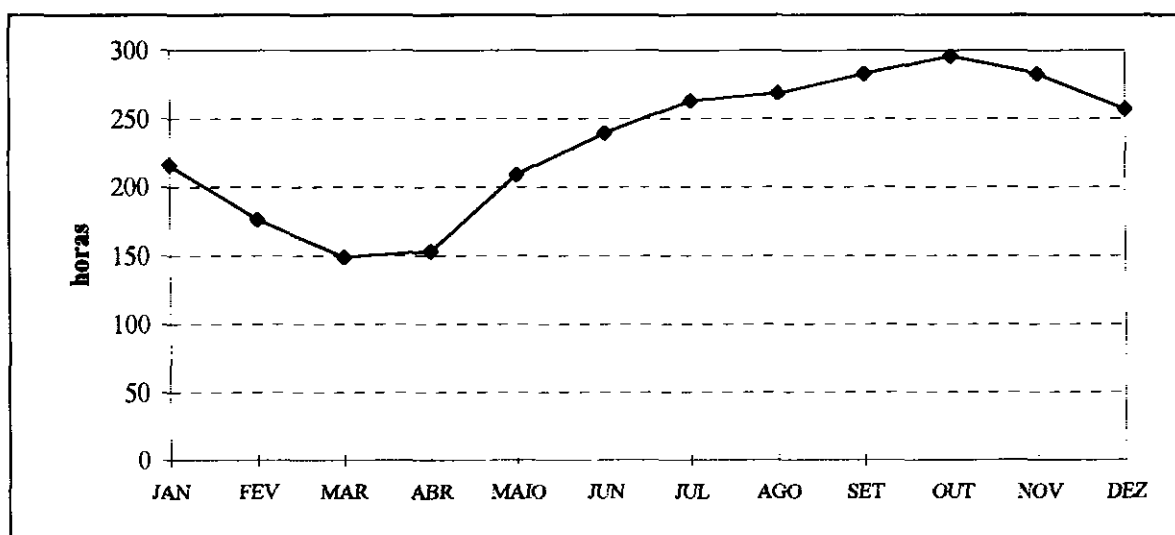


Figura 2.3-Insolação Média na estação de Fortaleza

2.1.4 - Ventos

A intensidade do vento é medida nos horários sinóticos de observação, a uma altitude de 10 m em relação a estação. Da mesma forma, a direção do vento também é medida nos três horários sinóticos, indicando a direção de onde o vento se origina.

⁴ INEMET, 1992, NORMAIS CLIMATOLÓGICAS (1961-1990), Brasília, Brasil.

A estação de Fortaleza apresenta suas velocidades médias dos ventos descrita no Quadro 2.4. Esta região a direção reinante dos ventos está dentro do quadrante Sudeste/Leste.

Quadro 2.4 - Velocidade Média dos Ventos na estação de Fortaleza

Media	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
m/s	3,6	3,1	2,4	2,3	2,8	3,1	3,5	4,4	4,9	4,6	4,5	4,5	3,6

FONTE: PERH(1992)⁵

2.1.5 - Evaporação Média

A evaporação anual observada em tanque-tipo classe "A" é de 1468 mm, distribuída ao longo dos meses segundo o Quadro 2.5 e Figura 2.4.

Quadro 2.5 - Evaporação Média na estação de Fortaleza

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
mm	120	96	72	68	85	95	118	152	167	173	168	154	1468

FONTE: INEMET (1991)

⁵SRH, 1992. Plano Estadual de Recursos Hídricos, Fortaleza, Ceará

O trimestre que apresenta os maiores valores de evaporação corresponde a setembro/outubro/novembro, ocorrendo o máximo em outubro (173,5 mm). Deve-se ressaltar, entretanto, que para adotar estes valores como representativos da evaporação em açudes, principalmente pequenos e médios, deve-se multiplicar estes valores por um coeficiente entre a evaporação do açude e a evaporação no Tanque Classe A (K_a). Molle (1989) aconselha os valores mostrados no Quadro 2.6 para K_a , em função da superfície do espelho.

Quadro 2 6 - K_a em função da superfície do espelho d'água

Superfície (ha)	0 a 5	5 a 10	10 a 20	20 a 30	média
K_a	0,95	0,87	0,82	0,75	0,84

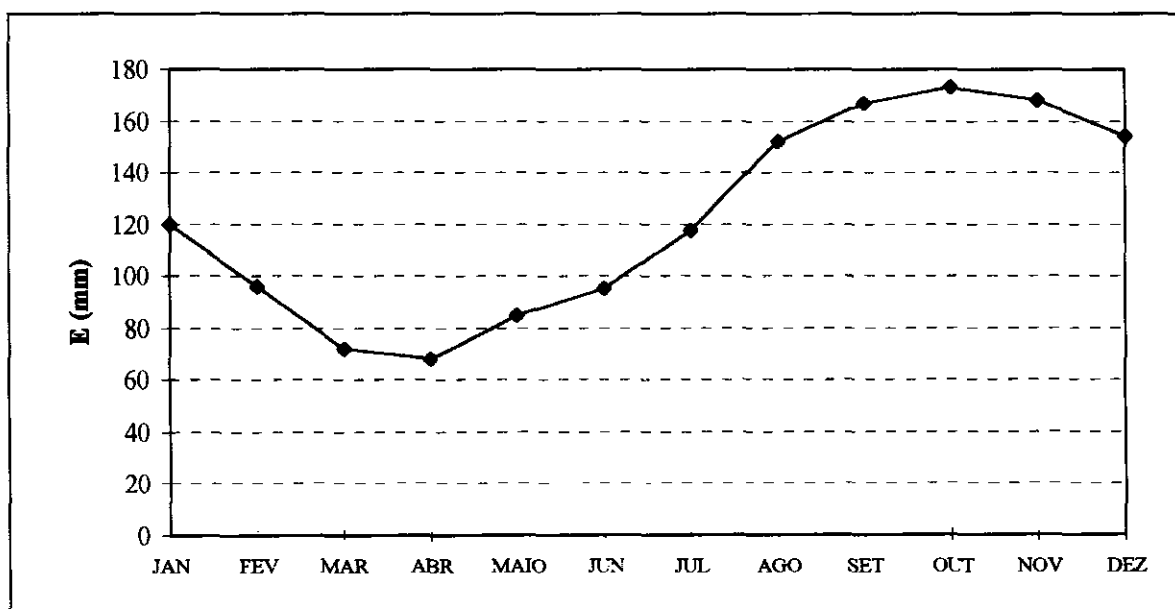


Figura 2.4 - Evaporação Média na estação de Fortaleza

2.1.6 - Evapotranspiração

O Quadro 2.7 apresenta a evapotranspiração potencial mensal obtida segundo Thornthwaite e Mather, totalizando 1647,4 mm. A Figura 2.5 confronta os valores do Quadro 2.7 com os valores da precipitação média. Percebe-se, como característica, o déficit hídrico em mais da metade do ano, com exceção dos meses de fevereiro a junho. Este fato demonstra, como é conhecido qualitativamente para as regiões semi-áridas, a necessidade da aplicação artificial de água.

Quadro 2.7 - Evapotranspiração Potencial (Thornthwaite & Mather) na estação de Fortaleza

Media	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANO
mm	154,5	129,9	134,4	132,9	131,8	120,8	120,9	129,3	134,8	149,7	150,9	157,5	1647,4

FONTE: PERH (1990)

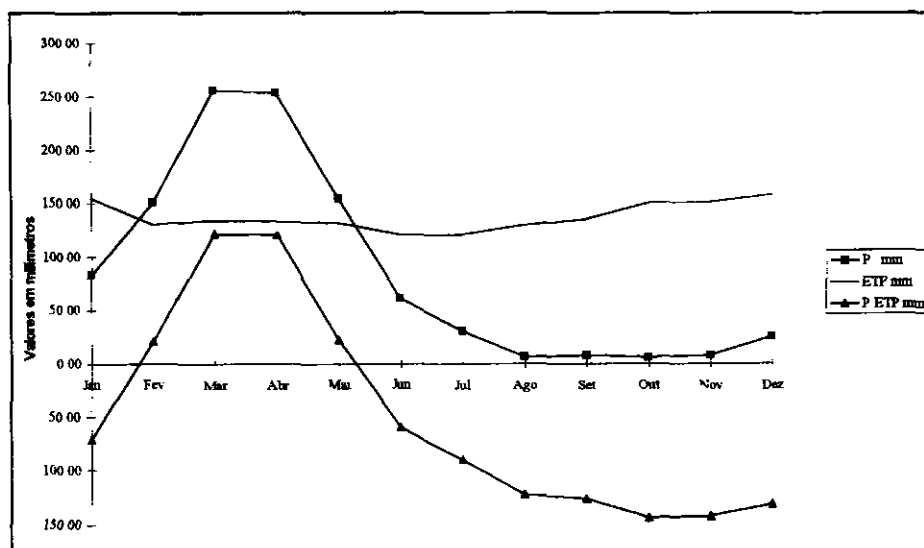


Figura 2.5 - Balanço Hídrico

2.2 - BALANÇO HÍDRICO

O princípio da conservação da massa à água aplicado a um determinado local ou área (em um dado volume de controle), nos fornece a diferença entre o ganho (precipitação) e o consumo (escoamento superficial e profundo, evaporação ou evapotranspiração) Este princípio é a base do balanço hídrico, concebido por Thornthwaite & Mather em 1955, e tem sido utilizado amplamente quando não se dispõe de muitos dados para 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 (PERH, 1990)⁶, obtém-se o Quadro 2.8.

Quadro 2.8 - Balanço Hídrico segundo Thornthwaite e Mather

Mês	P mm	ETP mm	P-ETP mm	Neg mm	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	82 99	154 5	-71 51	0 00	0 00	0 00	82 99	71 51	0 00
Fev	150 42	129 9	20 52	155 00	20 52	20 52	129 90	0 00	0 00
Mar	255 90	134 4	121 50	0 00	100 00	79 48	134 40	0 00	42 02
Abr	253 33	132 9	120 43	0 00	100 00	0 00	132 90	0 00	120 43
Mai	154 11	131 8	22 31	0 00	100 00	0 00	131 80	0 00	22 31
Jun	60 96	120 8	-59 84	59 84	54 00	-46 00	106 96	13 84	0 00
Jul	30 11	120 9	-90 79	150 63	22 00	-32 00	62 11	58 79	0 00
Ago	6 01	129 3	-123 29	273 92	6 00	-16 00	22 01	107,29	0 00
Set	7 32	134 8	-127 48	401 40	2 00	-4 00	11 32	123 48	0 00
Out	4 89	149 7	-144 81	546 21	0 00	-2 00	6 89	142 81	0 00
Nov	7 57	150 9	-143 33	689 54	0 00	0 00	7 57	143 33	0 00
Dez	24 84	157 5	-132 66	822 20	0 00	0 00	24 84	132 66	0 00
ANO	1038 44	1647 40	-608 96		404 52	0 00	853 68	793 72	184 76

⁶PERH, 1990. PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DO CEARÁ.

2.3 - CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA

2.3.1 - Classificação segundo Thornthwaite

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

- Índice de anidez:

O índice de anidez vem a ser a deficiência hídrica expressa em porcentagem da evapotranspiração potencial, este índice apresentou o valor 48 (Quadro 2.8).

- 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), este índice apresentou um valor de 11 (Quadro 2.8).

- Índice efetivo de umidade:

Este índice reflete o excesso ou déficit de água ao longo do ano, apresentando um valor igual a -18 (Quadro 2.8).

Com base nestes índices, os dados para a área de estudo, mostram um clima seco e sub-úmido; tipo C1, com índice efetivo de umidade variando entre 0% e -20%; clima seco, sub-tipo S, com índice de anidez superior a 33%, tipo A', megatérmico e sub-tipo a', baixa variação estacional (C1SA'a').

2.4 - SINOPSE CLIMATOLÓGICA

Pluviometria Média Anual (sobre a bacia)	1038 mm
Evaporação Média Anual	1468 mm
Evapotranspiração Potencial (Thornthwaite & Mather)	1647 mm
Insolação Média Anual	2694,3 h
Umidade Relativa Média Anual	78,3 %
Temperatura Média Anual Média das Máximas	29,9 °C
Temperatura Média Anual Média das Médias	26,6 °C
Temperatura Média Anual Média das Mínimas	23,5 °C
Classificação Climática	C1SA'a'

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 açudes 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 6 postos neste estudo, todos próximos à área de interesse, (bacia do rio Cauhape com um área de 94,00 km²), pertencentes ao grupo regional São Gonçalo.

O Quadro 3.1 mostra os postos pluviométricos utilizados que fazem parte dos grupo regional de São Gonçalo, ou seja, aqueles utilizados na formação do Vetor Regional

Quadro 3.1 - Estações Pluviométricas utilizadas

Ordem	Posto	Código		Coordenadas		Altitude (m)	Média Anual (mm)
		DNAEE	SUDENE	Lat	Long		
12	Guararu	00338006	2872435	3°43'	38°50'	50 00	1329 4
16	Trapiá	00338011	2872945	3°50'	38°47'	220 00	1152 7
17	Bom Princípio	00338012	2872925	3°57'	38°53'	210 00	1007 4
18	Sítios Novos	00338013	2872409	3°44'	38°58'	60 00	957 4
26	Sítios Novos de Cima	00339005	2872602	3°49'	39°00'	90 00	775 4
122	Columnjuba	00438020	2882035	4°01'	38°50'	350 00	997 9

Fonte DNAEE (1983)

3 2 - CARACTERIZAÇÃO DO REGIME PLUVIOMÉTRICO

3.2.1 - Nível Anual

As isoietas, linhas de mesma precipitação média, e iso-cv's (coeficientes de variação) estão apresentadas nas Figuras 3.1 e 3.2, que mostram a região da bacia do rio Cauhy e onde se acha assinalada a área do estudo. A área de estudo apresenta, segundo análise destas Figuras, média pluviométrica entre 1000 e 1200 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,40.

Uma análise freqüencial foi realizada para os postos listados anteriormente, sendo testadas várias distribuições, e escolhida a Log-Pearson III como a de melhor ajuste, sendo seus parâmetros estimados pelo método dos momentos. O Quadro 3 2 resume esta análise de freqüência

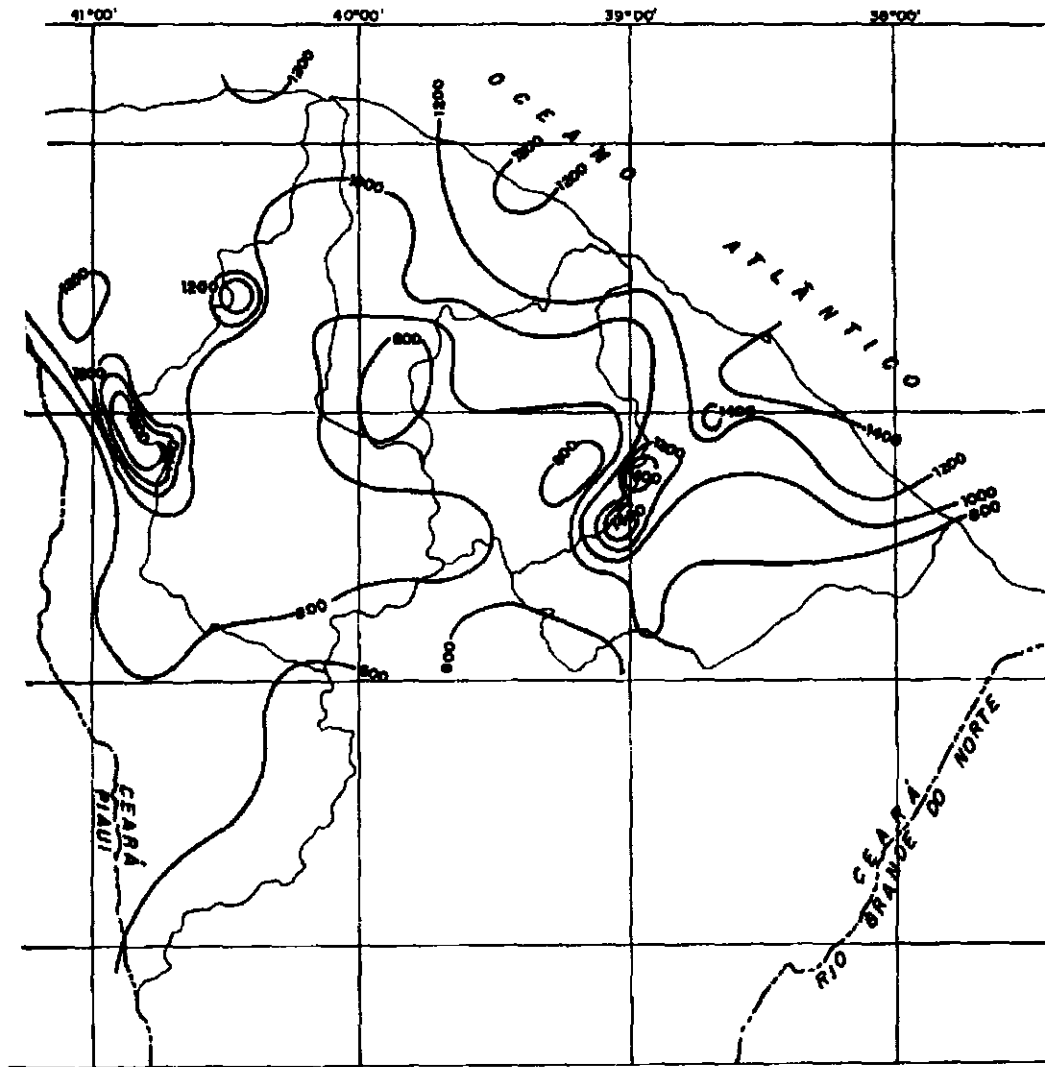


Figura 3.1 - Mapa de isoietas médias anuais

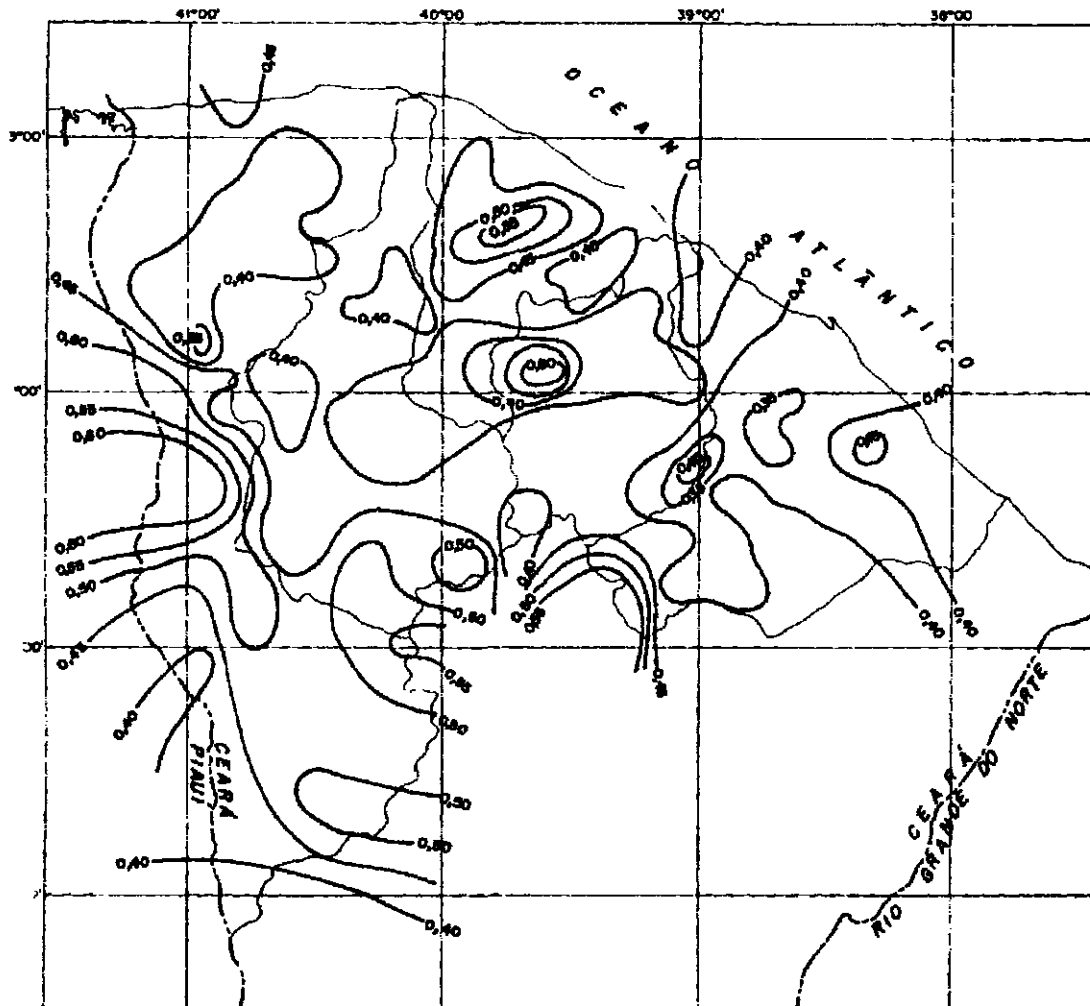


Figura 3 2 - Mapa de iso-cv

Quadro 3.2 - Análise de Frequência dos Totais Anuais. Distribuição Log-Pearson III.

Código	N Nº. anos	TR (ANOS)				
		10	100	200	500	1000
00338006	14	1937,90	3255,67	3798,55	4684,56	5525,32
00338011	14	1924,24	3347,39	3958,09	4980,68	5977,63
00338012	14	1650,62	2952,09	3496,60	4391,21	5244,72
00338013	22	1591,55	3118,41	3799,59	4953,63	6085,24
00339005	25	1359,25	2426,83	2837,47	3471,47	4035,71
00438020	42	1672,28	2633,79	2934,57	3346,55	3670,91

3.2.2 - Nível Mensal

A análise da distribuição temporal mostra a concentração do total precipitado no primeiro semestre do ano, correspondendo a cerca de 90% do total anual

A nível trimestral nota-se mais ainda a gravidade da concentração temporal, onde constata-se que cerca de 63% do total anual precipita-se em apenas três meses do ano, no trimestre Março/Abril/Maio. Neste trimestre e no trimestre Fevereiro/Março/Abril os meses de abril corresponde mais frequentemente ao mais chuvoso, com cerca de 24% do total anual

No Quadro 3.3 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 3.3 - Índices de Concentração Fluviométrica. Série de Valores Médios Mensais.

CÓDIGO	MÊS MAIS CHUVOSO			TRIMESTRE MAIS CHUVOSO			SEMESTRE MAIS CHUVOSO		
	MÊS	mm	%	TRI	mm	%	S	mm	%
00338006	ABRIL	302 2	22.7	MAM	796 0	59 9	1	1150 5	86 5
00338011	ABRIL	269 4	23 4	MAM	677 4	58 8	1	1018 1	88 3
00338012	ABRIL	250 7	24 9	MAM	634 0	62 9	1	926 6	92 0
00338013	ABRIL	220 3	23 0	MAM	582.2	60 8	1	853 0	89 1
00339005	MARÇO	209 7	27 0	MAM	509 3	65 7	1	726 4	93 7
00438020	ABRIL	259 8	26 0	FMA	673 4	67 5	1	935 0	93 7

Quadro 3 4 - Análise de Frequência a Nível Mensal - Trimestre mais chuvoso. Distribuição Log-Pearson III

Código	N Nº. anos	TR (ANOS)				
		10	100	200	500	1000
00338006	15	1177,01	2006,26	2363,24	2961,93	3546,54
00338011	17	1257,92	2392,56	2828,23	3498,44	4091,71
00338012	14	994,21	1671,47	1938,52	2361,76	2750,73
00338013	23	1036,50	1810,73	2078,77	2466,63	2789,09
00339005	28	933,95	1734,77	2017,13	2427,91	2770,65
00438020	42	1291,82	2256,16	2558,71	2970,04	3290,22

3.2.3 - 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 3.5.

**Quadro 3.5 - Análise de Frequência de Máximos Diários de Chuva
Distribuição Log-Pearson III**

Código	N Nº. Anos	TR (ANOS)				
		10	100	200	500	1000
00338006	16	130,67	235,48	283,10	365,62	448,95
00338011	17	119,08	171,41	188,70	213,40	233,79
00338012	14	114,09	175,42	199,53	237,86	273,27
00338013	25	121,03	188,13	211,00	244,04	271,55
00339005	27	124,82	232,99	278,56	352,85	422,75
00438020	42	118,99	189,13	213,12	247,70	276,38

3.2.3 - Estudos de Chuvas Intensas

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 intensidade-duração-frequência pluviométrica.

Para caracterização do regime de chuvas intensas da região pode-se sem dúvida utilizar-se da tradicional equação de chuvas intensas de Fortaleza, mostradas a seguir

$$i = \frac{528,076 T^{0,148}}{(t+6)^{0,62}}, \text{ para } t \leq 120 \text{ min} \quad \text{e} \quad i = \frac{54,50 T^{0,194}}{(t+1)^{0,86}}, \text{ para } t > 120 \text{ min}$$

onde i é a intensidade de chuva (mm/h), T o tempo de retorno (anos) e t a duração em minutos para a primeira fórmula e em horas para a segunda.

O quadro 3.6 mostra os valores da chuva de projeto calculada a partir da equação acima. Já a Figura 3.3 as curvas altura-duração-freqüência para diferentes tempos de retorno

Quadro 3.6 - Chuva de Projeto (mm)

DURAÇÃO (h)	PERÍODOS DE RETORNO				
	100	200	500	1000	10000
CHUVA PONTUAL					
0.1	22,37	24,78	28,38	31,45	44,22
1	77,73	86,13	98,63	109,29	153,67
24	200,62	229,5	274,14	313,6	490,21

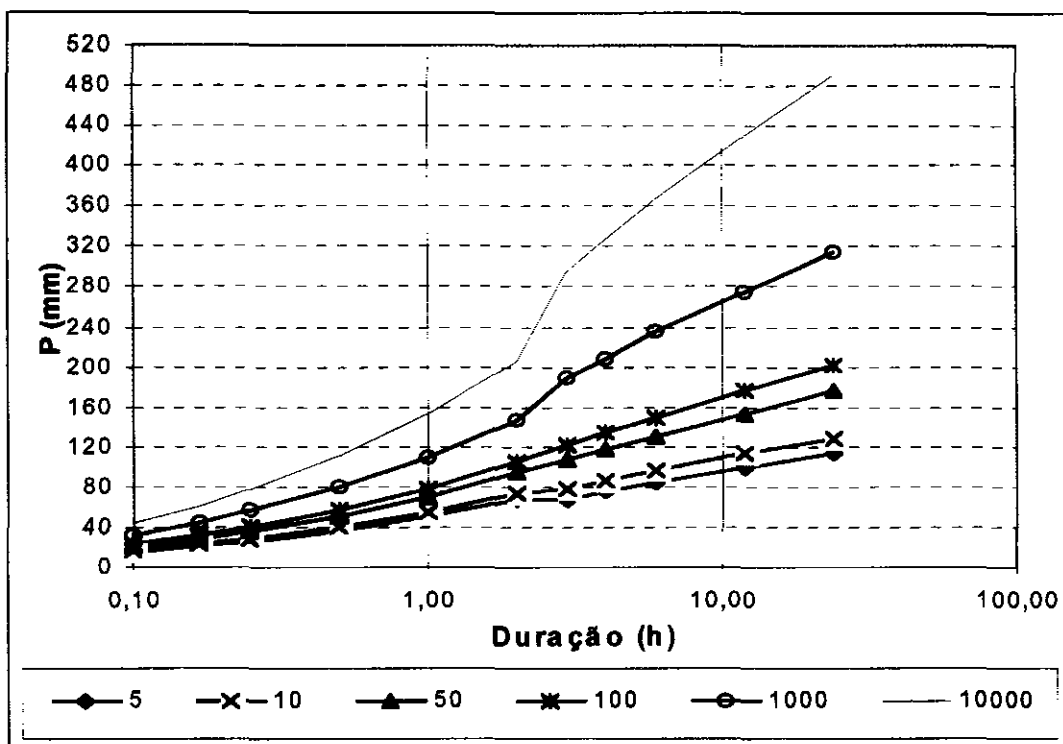


Figura 3 3 - Curvas Altura-Duração-Frequência para Fortaleza

CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE DEFLÚVIOS

F:\CAUNIBE\proj-est\Est_Hidrologicos_P_Exec.doc

000033

4 - ESTUDO DE DEFLÚVIOS

O objetivo do presente capítulo é obter uma avaliação qualitativa e quantitativa da disponibilidade natural de água decorrente do escoamento superficial sobre a bacia do Cauhipe até a seção da barragem

A estimativa das vazões afluentes mensais ao açude Cauhipe foi realizada objetivando fornecer elementos para a caracterização do regime fluviométrico e para a simulação de sua operação, visando o dimensionamento do reservatório

O modelo escolhido foi o MODHAC⁷, cujos resultados no PERH-CE demonstraram uma boa adequação às bacias hidrográficas estaduais.

Na região de estudo existe a estação fluviométrica Sítios Novos localizada no Rio São Gonçalo. Devido ao elevado coeficiente de escoamento, superior a 30%, obtido por ocasião do Plano Estadual de Recursos Hídricos - Ceará, decidiu-se realizar uma nova calibração.

4.1 - METODOLOGIA

O estudo das vazões medidas em estações fluviométricas é indispensável para o conhecimento do regime hidrológico de uma bacia hidrográfica. Mantidas ao longo de décadas por órgãos ligados ao setor de recursos hídricos, as estações fluviométricas têm uma densidade muito inferior à dos pluviômetros.

⁷ MODHAC - Modelo Hidrológico Auto Calibrável - A.E.L. Lanna & M. Schwarzbach - 1989. Publicação de Recursos Hídricos 21 - Instituto de Pesquisas Hidráulicas I.P.H. - U.F.R.G S

Constatou-se a existência de um posto fluviométrico em uma bacia hidrográfica vizinha com características hidroclimatológicas semelhantes. Assim, foi possível a utilização de um modelo chuva-vazão do tipo concentrado com o intuito de se obter uma série de vazões sintéticas a partir da série de precipitações médias sobre a bacia do Cauhape. Foi utilizado o modelo chuva-vazão MODHAC, baseado na simulação de três reservatórios que representam os níveis de armazenamento de água superficial, subsuperficial e subterrâneo. O balanço hídrico é executado a nível diário (intervalo de computação) e os resultados e as vazões geradas são apresentadas mês a mês (intervalo de simulação)

Estes reservatórios, dispostos em série, possuem parâmetros que têm que ser ajustados a partir do confronto de dados observados de vazão mensais concomitantes com dados de precipitação diária. Os três reservatórios fictícios que compõem o MODHAC, esquematicamente representado na Figura 4.1, são descritos 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
- 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, 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.

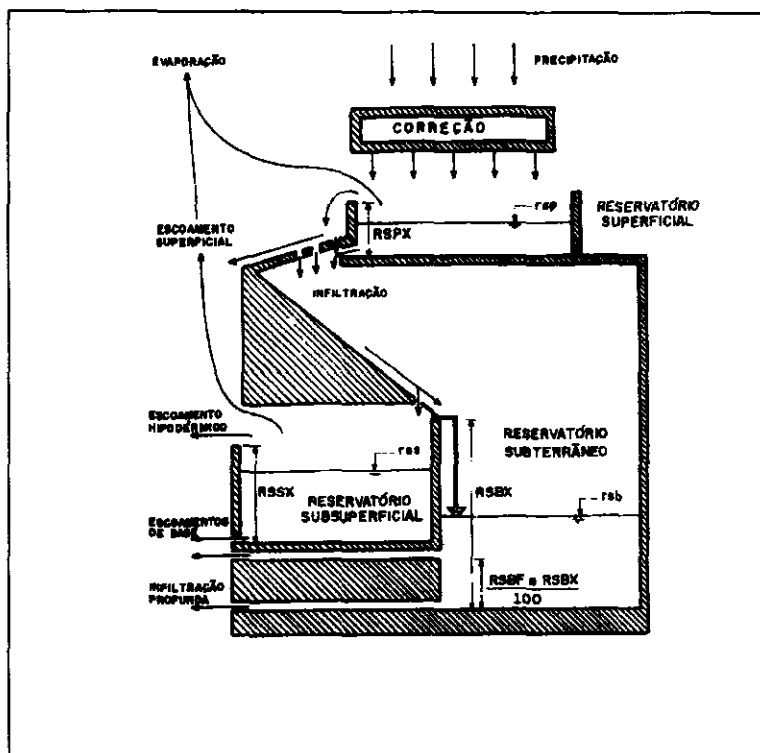


Figura 4.1 - Representação esquemática do MODHAC

4.2 - DADOS UTILIZADOS

Os dados necessários para a calibração do MODHAC são: pluviometria diária, séries fluviométricas mensais/diárias e evapotranspiração potencial

Em resumo, procedeu-se da seguinte maneira para a utilização dos dados disponíveis:

- calibração do MODHAC para a bacia que contribui para a estação Sítios Novos;
- verificação e análise dos parâmetros obtidos;
- com os parâmetros obtidos, fez-se a simulação da séries de vazões na bacia do Cauhipe em um período correspondente a duração da série de precipitação média

Partiu-se da hipótese de que os parâmetros utilizados, obtidos na calibração, são representativos para simular os processos de transformação chuva-vazão que ocorrem na bacia do Rio Cauhipe.

4.2.1 - Pluviometria

As estações utilizadas neste estudo, com suas respectivas localizações, encontram-se no Quadro 4.1 enquanto que a disponibilidade dos dados pluviométricos é apresentada no Quadro 4.1a. A série de precipitação média sobre a bacia de contribuição do reservatório Cauhipe é apresentada no Quadro 4.2. Esta série de precipitação média foi calculada utilizando-se o método de Thiessen, sendo estabelecidos os diversos polígonos de influência de acordo com a disponibilidade de dados das estações. A Figura 4.2 mostra a bacia de contribuição e os polígonos de Thiessen para o ano de 1977.

Quadro 4.1 - Localização das estações pluviométricas utilizadas neste estudo.

Ordem	CÓDIGO	LATITUDE	LONGITUDE
12	00338006	38°50'	3°43'
16	00338011	38°47'	3°58'
17	00338012	38°53'	3°58'
18	00338013	38°59'	3°44'
26	00339005	39°00'	3°49'
122	00438020	38°51'	4°01'

Quadro 4 1a - Disponibilidade dos dados pluviométricos

Ord	CÓDIGO	JFMA1922SOND	JFMA1923SOND	JFMA1924SOND	JFMA1925SOND	JFMA1926SOND	JFMA1927SOND	JFMA1928SOND	JFMA1929SOND	JFMA1930SOND	JFMA1931SOND	JFMA1932SOND
12	00338006											
16	00338011											
17	00338012											
18	00338013											
26	00339005											
122	00438020	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Ord	CÓDIGO	JFMA1933SOND	JFMA1934SOND	JFMA1935SOND	JFMA1936SOND	JFMA1937SOND	JFMA1938SOND	JFMA1939SOND	JFMA1940SOND	JFMA1941SOND	JFMA1942SOND	JFMA1943SOND
12	00338006											
16	00338011											
17	00338012											
18	00338013											
26	00339005											
122	00438020	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Ord	CÓDIGO	JFMA1955SOND	JFMA1956SOND	JFMA1957SOND	JFMA1958SOND	JFMA1959SOND	JFMA1960SOND	JFMA1961SOND	JFMA1962SOND	JFMA1963SOND	JFMA1964SOND	JFMA1965SOND
12	00338006								-----	-----	-----	-----
16	00338011								FF-----	-----F	-----	-----
17	00338012								-----	-----	-----	-----
18	00338013								FF-----	-----	-----	-----
26	00339005								FFF-----	-----	-----	-----
122	00438020	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF

Quadro 4 1a - Disponibilidade dos dados pluviométricos (continuação)

Ord	CÓDIGO	JFMA1966SOND	JFMA1967SOND	JFMA1968SOND	JFMA1969SOND	JFMA1970SOND	JFMA1971SOND	JFMA1972SOND	JFMA1973SOND	JFMA1974SOND	JFMA1975SOND	JFMA1976SOND
12	00338006	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----FFFF--
16	00338011	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----F----
17	00338012	-----	-----	---F-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	FFFFFFFF--
18	00338013	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
26	00339005	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
122	00438020	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF
Ord	CODIGO	JFMA1977SOND	JFMA1978SOND	JFMA1979SOND	JFMA1980SOND	JFMA1981SOND	JFMA1982SOND	JFMA1983SOND	JFMA1984SOND	JFMA1985SOND	JFMA1986SOND	JFMA1987SOND
12	00338006	----FF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF
16	00338011	-----	-----	---FFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF
17	00338012	-----	FFFFFFF----	---FFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF
18	00338013	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---F-----	-----	---FFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF
26	00339005	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---F----	-----	-----	-----	-----
122	00438020	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF	FFFFFFFFFFFF
Ord	CÓDIGO	JFMA1988SOND										
12	00338006	FFFFFFFFFFFF										
16	00338011	FFFFFFFFFFFF										
17	00338012	FFFFFFFFFFFF										
18	00338013	FFFFFFFFFFFF										
26	00339005	-----										
122	00438020	FFFFFFFFFFFF										

F = meses com falta de dados

- = meses com dados disponíveis

Quadro 4.2 - Pluviometria média mensal na bacia de contribuição do
Reservatório Cauhupe

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOT ANUAL
1922	61 5	59 5	76 4	236 8	135 8	108 0	58 0	7 5	4 0	0 0	31 9	3 0	782 4
1923	79 9	293 6	157 0	243 1	35 6	24 3	15 6	8 6	21 0	8 5	0 0	0 0	887 2
1924	393 9	193.3	364 7	478 0	380 2	109 7	6 5	0 0	0 0	20 4	6 2	64 4	2017 3
1925	143 8	142.2	241 1	350 3	220 0	38 5	0 0	4 3	15 4	5 2	10 2	3 0	1174 0
1926	35 8	276 0	499 9	676 8	261 8	17 8	5 5	0 0	0 0	10 5	0 0	0 0	1784 1
1927	124 2	157 7	116 7	458 1	122 8	111 3	37 6	5 4	11 8	0 0	7 5	49 9	1203 0
1928	92 9	113 3	160 6	251 2	44 6	26 7	3 7	0 0	9 3	5 5	2 0	26 0	735 8
1929	67 0	227.0	369.0	293 0	132 0	60.0	6.0	3 0	3 0	1 0	3 0	6 0	1170 0
1930	50 0	24.0	113 0	129 0	28 0	16 0	3 0	0 0	1 0	1 0	6 0	10 0	381 0
1931	20 0	266.3	217 4	151 6	39 0	48 6	9 4	14 0	5 5	7 7	3 0	14 3	796 8
1932	58 0	70.0	133 0	32.5	42.1	72 5	17 0	0 0	17.6	3 2	0 0	18 0	463 9
1933	150 4	157 5	212 8	516 6	66 6	28 2	9 7	3 7	3 2	0 5	13 2	56 7	1219 1
1934	177 8	317 5	664 5	255 8	171 2	69 5	0 0	5 2	5 5	3 4	19 0	61 0	1750 4
1935	48 4	224 1	260 6	345 9	210 2	173 5	32 3	10 4	3 7	5 3	2 3	8 8	1325 5
1936	72 7	75 8	70 7	55 2	216 0	59 1	11 2	0 5	1 1	0 0	0 0	0 0	562 3
1937	9 2	160 8	252.2	345.5	264 0	112 6	34 1	9 2	11 1	2 2	0 0	30 1	1231 0
1938	95 4	56 4	503 9	392 9	165 6	51.5	19 3	0 6	0 0	0 9	4 0	14 9	1305 4
1939	114 0	483 1	411 6	305 3	102 0	38 4	53 2	18 0	0 0	13 0	11 3	4 0	1553 9
1940	76 0	122 1	378 2	345 3	136 0	8.0	0 0	0 0	2 0	0 0	2 0	0 0	1069 6
1941	0 0	13 3	189 0	175 2	67 2	3 1	0 0	4 3	3 2	12 5	28 2	24 6	520 6
1942	0 1	142 3	81 8	169 6	43 5	0.0	6 2	0 0	0 0	7 6	0 0	0 0	451 1
1943	31 7	90 5	259.7	336.3	31 3	28 7	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	54 3	832 5
1944	76 3	32 5	169 4	164 3	214 3	56 6	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	51 5	764 9
1945	109 4	335 6	279 4	402 8	312 4	95.8	50 8	0 0	0 5	0 0	0 0	92 9	1679 6
1946	146 4	196 3	360 1	329 1	98 5	117 3	0 0	0 0	1 0	0 5	0 0	23 4	1272 6
1947	111 9	101 2	348 4	225 6	156 7	45 5	11 9	0 0	0 0	0 0	58 8	4 9	1064 9
1948	28 1	89 7	382 1	164 7	272 9	88 1	70 3	0 0	0 0	0 0	0 0	24 4	1120 3
1949	0 0	117 5	396 7	321 3	454 9	69 0	0 0	0 0	7 3	0 0	0 0	0 0	1366 7
1950	5 0	192 0	255 8	285 9	89 4	0 0	5 0	0 0	1 0	0 0	2 1	11 6	847 8
1951	0 0	2 0	8 0	173 4	38 2	47 0	0 0	0 0	0 0	12 6	0 0	51 0	332 2
1952	58 7	59 4	372 4	314 4	59 6	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	864 5
1953	27 8	112 1	169 5	132 1	58 2	6 0	4 0	3 0	2 2	3 2	2 2	15 9	536 2
1954	28 0	155 6	247 5	81 5	120 1	49 1	3 2	3 0	9 2	4 0	7 0	51 0	759 2
1955	129 0	120 2	53 0	230 2	120 1	38 2	8 3	7 2	13 1	17 2	6 0	31 6	774 1
1956	10 0	243 5	273 9	216 2	119 6	26 4	12 3	13 5	12 3	11 2	5 0	25 3	969 2
1957	120 2	21 2	365 0	387 0	204 5	12 0	30 0	9 2	10 2	10 1	6 1	40 1	1215 6
1958	15 0	12 2	72 3	71 2	72 7	29 1	17 5	2.1	12 2	4 0	6 5	9 1	323 9
1959	126 1	130 8	345 3	67 5	172 2	111 4	16 2	25 5	4 1	6 3	5 1	12 6	1023 1

Quadro 4.2 - Pluviometria média mensal na bacia de contribuição do Reservatório Cauhipe (continuação ..)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOT ANUAL
1960	7 0	14 4	295 0	83 4	35 3	29 0	25 1	10 5	5 2	16 4	6 1	34 0	561 4
1961	138 2	408 8	195 0	154 6	73 7	19 0	15 3	9 1	11 4	6 3	8 0	11 3	1050 7
1962	161 1	128 6	29 4	288 6	128 3	25 0	9 2	5 1	13 0	0 0	4 0	12 5	804 8
1963	185 7	236 8	339 2	142 7	108 2	13 8	30 4	5 3	0 0	0 5	110 5	40 6	1213 7
1964	140 1	275 2	273 3	590 5	195 5	58 6	68 4	7 5	59 1	11 3	1 5	16 9	1697 9
1965	120 5	12 2	312.1	316 4	321 2	194 3	14 3	2 0	3 5	11 2	0 0	10 1	1317 8
1966	11 4	31 6	119 3	141 5	280 1	106 7	90 3	20 8	31 9	0 1	16 1	4 0	853 8
1967	22 9	481 8	307 6	277 4	158 1	99 4	57 6	12 3	26 8	13 6	1 0	7 3	1465 8
1968	112 8	62 1	160 7	215 1	277 7	34 6	11 5	7 0	0 9	2 7	2 1	77 9	965 1
1969	44 3	38 3	350 3	335 4	136 8	130 8	108 9	24 3	3 7	7 0	2 0	1 8	1183 6
1970	84 1	18 6	204 4	456 3	69 7	50.3	18 4	17 8	1 3	3.1	15.9	0 1	940.0
1971	106 1	109 5	275 5	178 2	233 8	129 7	212 4	0 2	0 0	36 4	9 8	37 2	1328 8
1972	48 0	66.7	113 0	280 3	150 1	127 9	55 2	65 8	6 9	0 0	0 0	20 7	934 6
1973	130 7	281 6	313 8	399 5	318 6	129 7	89 1	12 2	29 9	0 0	16 4	2 6	1724 1
1974	369 1	147 9	597.1	414 5	490 9	99 4	0 1	7 3	33 5	9 0	0 1	72 3	2241 2
1975	77 9	175 9	304 1	221 2	384 6	75 0	234 5	0 1	25 3	0 0	3 1	75 7	1577 4
1976	46 8	206 1	243 9	221 0	28 0	18 2	23 8	4 3	0 0	13 2	13 7	0 0	819 0
1977	144 3	128 1	235 3	138 4	121 8	149 9	92 5	3 0	3 2	1 7	5 9	1 9	1026 0
1978	19 6	143 6	143 6	218 0	156 0	38 1	77 7	14 9	9 4	11 5	4 9	33 7	871 0
1979	45 2	55 7	110 7	66 6	123 6	48 5	0 0	12 2	19 1	0 0	3 9	5 7	491 2
1980	81 6	209 5	166 9	62 2	45 0	38 1	9 3	0 0	5 8	0 0	0 0	11 5	629 9
1981	11 2	52 6	399 6	99 4	54 6	3 9	0 0	0 0	0 0	0 0	2 4	74 7	698 4
1982	100 0	102 7	192 3	220 6	36 6	54 3	34 0	0 0	0 0	3 9	30 9	7 0	782 3
1983	8 6	185 1	109 0	60 6	85.0	17 0	0 0	0 0	0 0	2 2	0 0	9 2	476 7
1984	74 4	102 6	203 5	248 0	202 6	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	831 1
1985	249 2	426 6	427 2	411 2	321 3	131 0	85 6	3 1	8 8	0 0	0 0	171 8	2235 8
1986	79 8	241 1	366 0	217 2	138 5	124 5	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	1167 1
1987	0 0	50 1	295 2	95 2	0 0	99 7	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	540 2
1988	44 9	96 5	229 6	307 6	169 8	40 2	96 1	0 0	0 0	0 0	0 0	29 5	1014 2
MÉDIA	83 0	150 4	255 9	253 3	154 1	61 0	30 1	6 0	7 3	4 9	7 6	24 8	1038 4

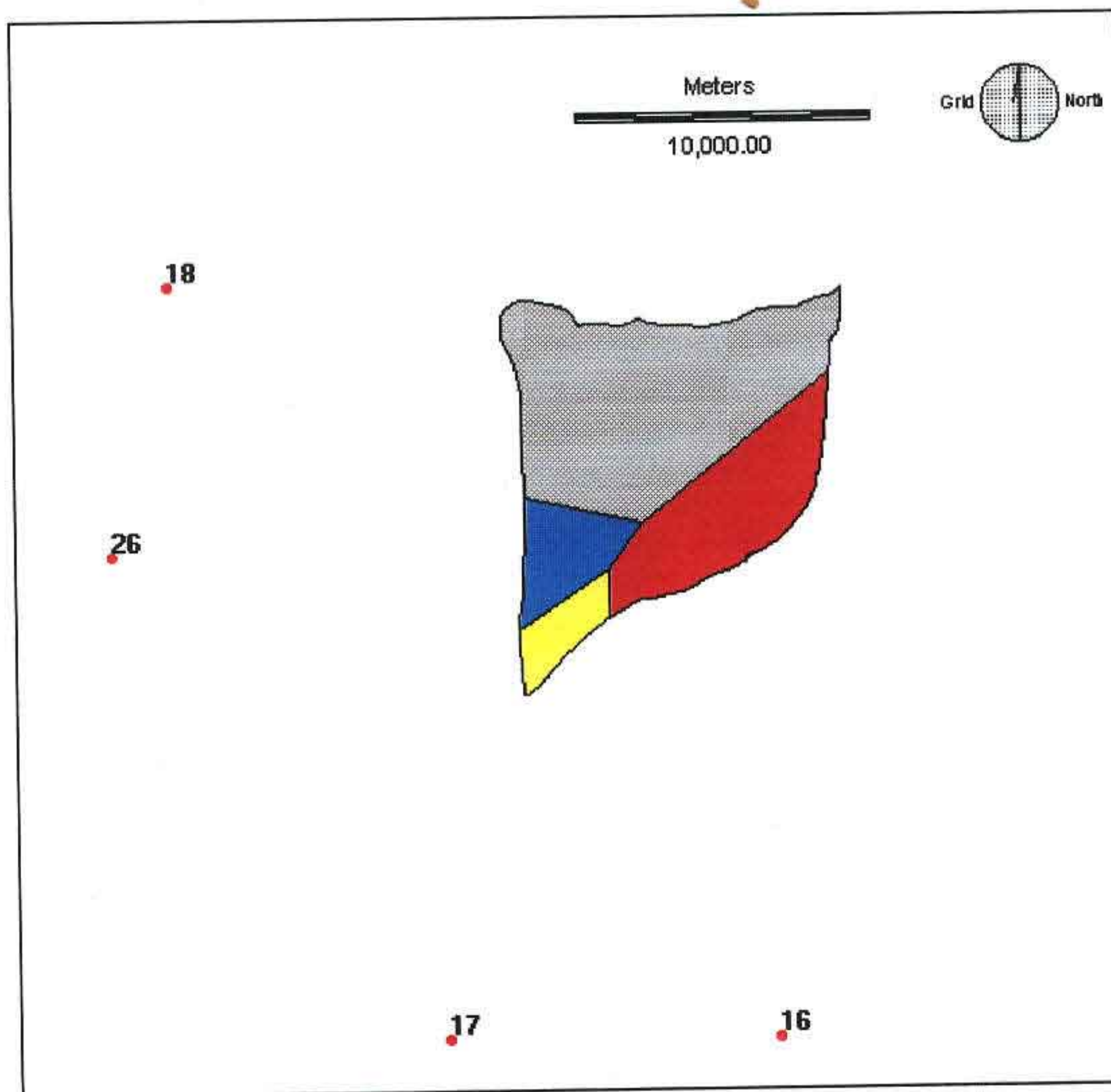


Figura 4.2 - Bacia do Cauhupe com polígonos de Thiessen para o ano de 1977

A hietograma médio para a bacia de contribuição do açude Cauhupe encontra-se na Figura 4.3.

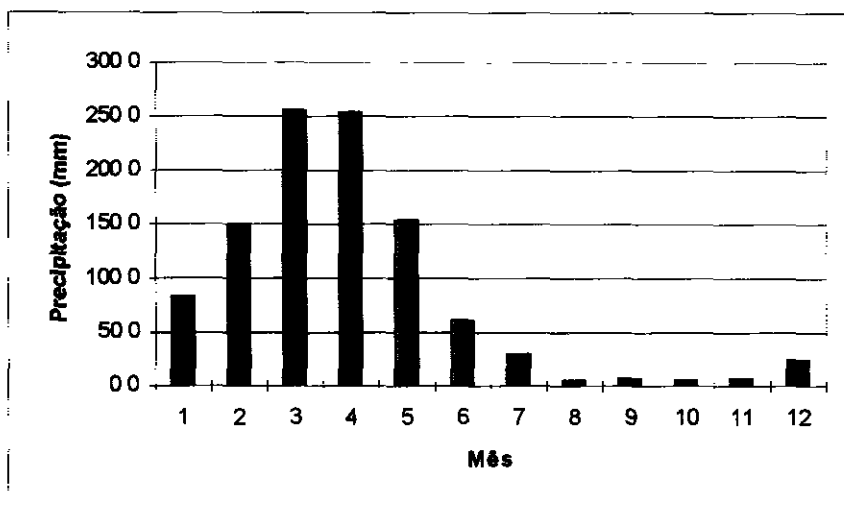


Figura 4.3 - Hietograma Médio para a bacia de contribuição do açude Cauhupe

4.2.2 - Evapotranspiração

A série de evapotranspirações mensais, apresentada no Quadro 4.3, foi obtida a partir do método de Hargreaves, utilizando-se para tanto os dados da estação climatológica de Fortaleza (código 82397 do INEMET), considerada como representativa da região em estudo.

Quadro 4.3 - Evapotranspiração Potencial segundo Hargreaves

Código	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
82397	143.9	126.4	119.1	105.7	110	105.9	111.2	135.2	145.1	159.5	151.7	149.4

4.2.3 - Fluviometria

A série fluviométrica a nível mensal para a estação Sítios Novos está apresentada abaixo no Quadro 4.4. As características da série observada são:

- Coeficiente de Escoamento aproximado: 21%
- Lâmina Escoada Média: 204,8 mm
- Coeficiente de Variação dos deflúvios: 1,3

Quadro 4.4 - Vazão observada mensal (m³/s) da estação Sítios Novos

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1968	0 00	0 00	2 45	8 39	8 11	0 79	0 15	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1969	0 00	0 00	1 07	15 03	5 97	0 47	1 07	0 15	0 00	0 00	0 00	0 00
1970	0 46	0 00	0 92	6 80	0 92	0 16	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1971	0 00	0 00	0 77	5 22	3 37	2 85	0 92	0 15	0 00	0 00	0 00	0 00
1972	-	-	-	-	-	-	-	-	0 00	0 00	0 00	-
1973	0 00	0 65	11 02	19 62	7 96	4 59	0 92	0 31	0 00	0 00	0 00	0 00
1974	5 97	5 24	35 06	48 89	31 54	4 11	1 07	0 15	0 00	0 00	0 00	0 00
1982	0 00	0 00	0 00	0 15	0 08	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1983	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1984	0 00	0 00	1 58	7 00	11 60	1 31	0 22	0 02	0 03	0 00	0 00	0 00
1985	0 77	28 90	34 00	39 70	15 00	3 00	3 50	0 70	0 20	0 00	0 00	0 07
1986	0 00	3 00	38 30	39 50	11 00	8 00	1 00	0 05	0 00	0 00	0 00	0 00
1987	0 00	0 00	3 01	1 40	0 51	1 00	0 19	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1988	0 00	0 00	2 06	15 20	16 70	2 27	1 24	0 30	0 00	0 00	0 00	0 00
1989	0 0	0 0	11 0	138 4	83 6	27 8	14 0	3 3	0 0	0 0	0 0	0 0
1990	0 0	1 6	1 9	0 9	2 9	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1991	0 0	0 0	33 1	26 9	15 6	2 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1992	0 0	0 0	1 3	4 7	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1993	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1994	0 0	0 0	3 9	23 6	29 5	24 2	5 9	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
MÉDIA	2.5	12.2	47.5	79.1	45.7	12.3	4.6	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0

4.3 - AJUSTE DO MODELO

Na tentativa de garantir que o mínimo obtido pelo método de Rosebrook seja um mínimo global, o processo de calibração foi repetido várias vezes com diferentes condições iniciais para estes parâmetros, sendo empregada a função objetivo do tipo mínimos quadrados. O período de vazões observadas 1989-1994 não foi utilizado devido à não disponibilidade de dados pluviométricos.

Obteve-se, para a estação Sítios Novos, na fase de calibração, uma lâmina média escoada de 213 mm, coeficiente de deflúvio de 21,0% e um coeficiente de variação de 1,15 para os períodos 1968-1974 e 1982-1988

O Quadro 4.5 mostra os parâmetros obtidos na calibração automática pelo método de Rosembrook.

Quadro 4.5 - Parâmetros Utilizados pelo Modelo MODHAC - calibração

RSPX	RSSX	RSBX	RSBF	IMAX	IMIN	IDEC	ASP	ASS	AS B	PRED	CEVA
mm	mm			mm/ dia	mm/ dia						
Período 1968-1974/1982-1988				Coef Deflúvio = 21,0%			Lâmina Média Escoada = 213 mm				
89 10	131 50	0 0	0 0	13 08	6 43	0 9912	0 0532	0 0009	0 0	999 0	1 0000

Os Quadros 4.6 e 4.7 apresentam respectivamente os deflúvios observados e calculados pelo MODHAC (em mm) no processo de calibração para o posto Sítios Novos

Quadro 4.6 - Vazões Observadas (mm) no posto Sítios Novos

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1968	0 0	0 0	16 0	53 0	53 0	5 0	1 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1969	0 0	0 0	7 0	95 0	39 0	3 0	7 0	1 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1970	3 0	0 0	6 0	43 0	6 0	1 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1971	0 0	0 0	5 0	33 0	22 0	18 0	6 0	1 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1972									0 0	0 0	0 0	0 0
1973	0 0	4 0	72 0	124 0	52 0	29 0	6 0	2 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1974	39 0	32 0	229 0	309 0	206 0	26 0	7 0	1 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1982	0 0	0 0	0 0	0 9	0 5	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1983	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1984	0 0	0 0	10 3	44 2	75 8	8 3	1 4	0 1	0 2	0 0	0 0	0 0
1985	5 0	176 6	222 1	250 9	98 0	19 0	22 9	4 6	1 3	0 0	0 0	0 5
1986	0 0	18 3	250 2	249 7	71 8	50 6	6 5	0 3	0 0	0 0	0 0	0 0
1987	0 0	0 0	19 7	8 8	3 3	6 3	1 2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1988	0 0	0 0	13 5	96 1	109 1	14 3	8 1	2 0	0 0	0 0	0 0	0 0

Quadro 4.7 - Vazões calculadas (mm) pelo MODHAC no posto Sítios Novos

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1968	0 0	0 1	5 6	18 3	56 2	17 3	4 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1969	0 1	0 0	3 2	167 9	41 5	13 6	10 3	2 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1970	12 2	2 9	3 4	46 0	23 6	8 2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1971	0 3	0 4	5 3	19 2	47 7	28 0	14 2	1 9	0 0	0 0	0 0	0 0
1972	0 0	0 1	0 8	1 0	7 1	4 4	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1973	0 1	1 3	99 6	159 9	65 2	114 6	20 2	6 2	0 0	0 0	0 0	0 0
1974	22 5	37 3	237 8	346 4	219 5	25 8	9 2	0 0	0 0	0 0	0 0	0 1
1982	0 2	0 1	3 4	7 1	7 3	0 5	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1983	0 0	2 3	2 5	0 3	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1984	0 1	0 3	2 7	35 9	70 4	24 1	8 1	0 1	0 0	0 0	0 0	0 0
1985	0 8	25 4	169 4	220 0	57 0	18 1	16 3	2 5	0 0	0 0	0 0	0 1
1986	0 3	6 7	142 4	141 9	36 1	28 6	17 1	2 2	0 0	0 0	0 0	0 0
1987	0 3	0 2	8 3	18 1	14 7	3 3	3 4	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
1988	0 1	0 3	20 5	140 3	108 5	16 9	8 4	0 5	0 0	0 0	0 0	0 0
MÉDIA	2 6	5 5	50 4	94 5	53 9	21 7	8 0	1 1	0 0	0 0	0 0	0 0

A Figura 4.4, apresentada a seguir, mostra os fluviogramas com as vazões calculadas e observadas para os períodos de calibração 1968-1974 e 1982-1988, sendo que ocorrem alguns meses de falha no ano de 1972.

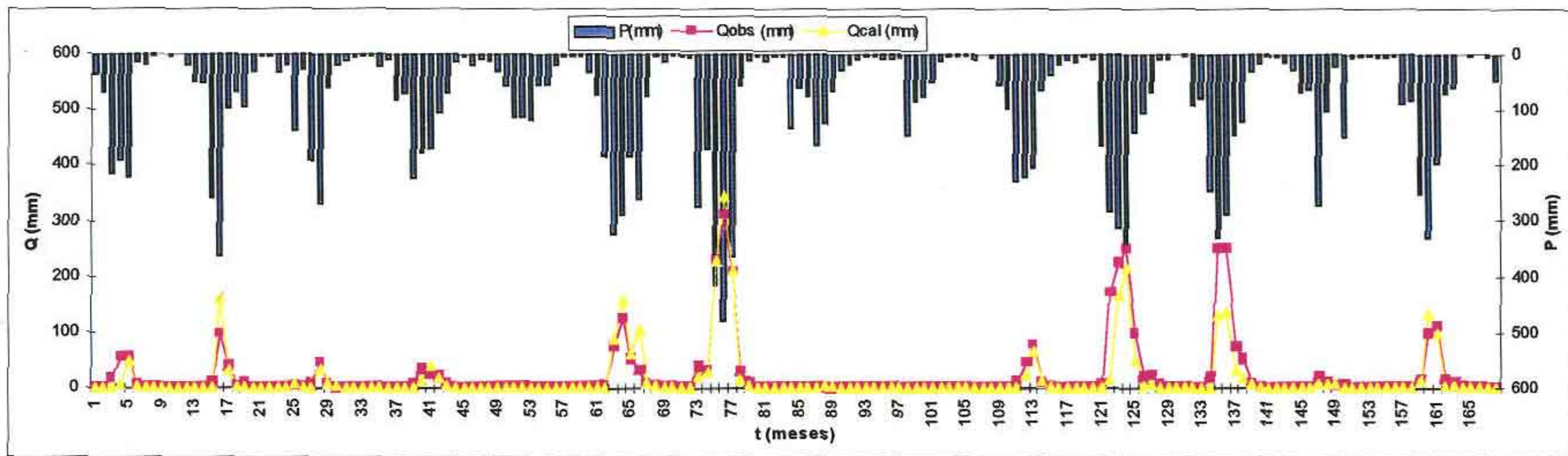


Figura 4.4 - Resultados da Calibração do Modelo MODHAC para a Bacia do Rio São Gonçalo em Sítios Novos

4.4 - SIMULAÇÃO DA SÉRIE DE VAZÕES

Utilizando os parâmetros obtidos na fase de calibração (Quadro 4.5) para a estação Sítios Novos, gerou-se com o MODHAC a série de vazões para a bacia hidrográfica afluente ao açude Cauhipe. Utilizou-se, para este fim, a pluviometria média diária calculada a partir dos polígonos de Thiessen para as diversas configurações de postos conforme a disponibilidade de dados de chuva. As características da série simulada a partir dos parâmetros do MODHAC e da pluviometria supra-citada são as seguintes.

- Coeficiente de Escoamento: 25,0%
- Lâmina Escoada Média: 260 mm
- Coeficiente de Variação: 1,05

O coeficiente de deflúvio, calculado pela razão entre a lâmina escoada e a precipitada, situa-se em torno de 25%. O Quadro 4.8 apresenta as vazões mensais afluentes ao açude, em m³/s, geradas pela simulação com MODHAC no período 1922-1988, enquanto que a Figura 4.5 apresenta o fluvioograma médio mensal simulado. A Figura 4.6 apresenta a série afluente simulada, em mm, para o período entre 1922 e 1988

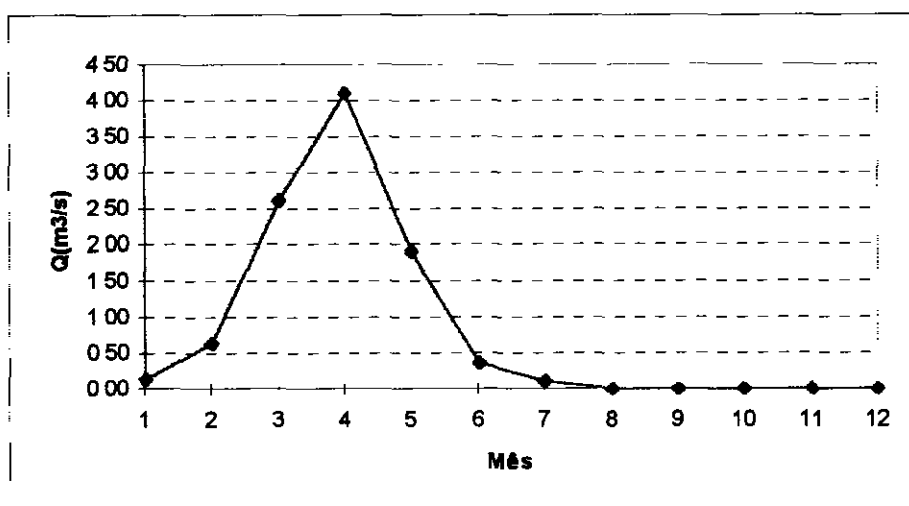


Figura 4.5 - Fluvioograma médio mensal (m³/s) na seção Cauhipe

Quadro 4.8 - Vazões simuladas (m3/s) afluente ao açude Cauhipe.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1922	0 00	0 00	0.00	1 91	0 39	0 11	0 09	0.02	0 00	0 00	0.00	0 00
1923	0 00	0 65	0 53	3 39	0 37	0 06	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1924	3 83	1 15	7 64	12 96	8 86	2 72	0 07	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1925	0 00	0 02	0 67	6 29	5 41	0 09	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1926	0 00	0 11	11 70	20 79	5 93	0 16	0.02	0 00	0 00	0.00	0 00	0 00
1927	0 00	0 01	0 06	7 11	0 87	0 25	0 11	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00
1928	0 00	0 00	0.03	1 16	0 46	0.05	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1929	0 00	0 04	5 76	6 24	0 99	0 14	0 05	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1930	0 00	0 00	0 00	0 04	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1931	0 00	0 34	1 97	0 88	0 21	0 05	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1932	0 00	0 00	0 02	0 02	0 00	0.00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0.00
1933	0 01	0 06	0 09	13 98	0 53	0 08	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1934	0 02	1 78	19 54	4 21	3 15	0 34	0 04	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1935	0 00	0 24	1 56	7 52	3 04	1 41	0 27	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00
1936	0 00	0 00	0 01	0 00	0 39	0 08	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1937	0 00	0 01	0 86	6 89	4 77	0 65	0 10	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00
1938	0 00	0 00	6 78	9 09	1 46	0 28	0 06	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1939	0 00	8 19	9 08	6 36	0 84	0 14	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1940	0 00	0 02	2 81	8 51	1 23	0 11	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1941	0 00	0 00	0 03	0 06	0 12	0 04	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1942	0 00	0 02	0 02	0 02	0 05	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1943	0 00	0 00	0 02	5 56	0 13	0 05	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1944	0 00	0 00	0 00	0 06	1 39	0 38	0 05	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1945	0 00	2 71	4 00	9 57	6 08	0 63	0 28	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00
1946	0 02	0 01	4 60	7 13	1 28	0 48	0 06	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1947	0 00	0 03	2 34	2 50	2 74	0 11	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1948	0 00	0 00	2 18	1 70	4 58	0 63	0 08	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00
1949	0 00	0 00	2 96	6 81	12 53	0 43	0 07	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1950	0 00	0 01	0.90	4.67	0 78	0 07	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1951	0 00	0 00	0 00	0 03	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1952	0 00	0 00	7 60	6 55	0 12	0 04	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1953	0 00	0 00	0 06	0 09	0 11	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1954	0 00	0 01	1 13	0 16	0 13	0 09	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1955	0 00	0 87	0 02	0 15	0 10	0 10	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1956	0 00	0 02	2 35	3 89	0 72	0 08	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1957	0 01	0 00	2 37	9 73	2 59	0 12	0 05	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1958	0 00	0 00	0 00	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1959	0 03	0 04	3 46	1 14	0 39	0 67	0 07	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1960	0 00	0 00	3 16	0 09	0 05	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1961	0 00	5 85	2 41	1 15	0 22	0 07	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00

Quadro 4.8- Vazões simuladas (m3/s) afluyente ao açude Cauhipe (Continuação)

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1962	0 00	0 03	0 03	0 28	0 86	0 11	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1963	0 05	0 54	5 05	2 76	0 17	0 08	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 01
1964	0 01	0 18	4 86	16 15	1 77	0 35	0 09	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00
1965	0 01	0 00	2 40	6 18	5 06	2 57	0 12	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00
1966	0 00	0 00	0 01	0 04	0 38	1 32	0 30	0 05	0 00	0 00	0 00	0 00
1967	0 00	6 87	5 13	4 47	1 55	0 15	0 10	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00
1968	0 00	0 01	0 02	0 14	3 25	0 24	0 05	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1969	0 00	0 00	1 52	7 24	1 54	0 24	0 66	0 08	0 00	0 00	0 00	0 00
1970	0 00	0 01	0 07	8.46	0 22	0 11	0 04	0.00	0 00	0.00	0.00	0 00
1971	0 00	0 02	0 75	1 04	1 44	3 13	0 58	0 10	0 00	0 00	0 00	0 00
1972	0 00	0 00	0 01	2 67	1 11	0 14	0 15	0 04	0 00	0 00	0 00	0 00
1973	0 01	1 64	4 32	9 16	6 61	0 88	0 30	0 06	0 00	0 00	0 00	0 00
1974	4 45	1 22	12 80	10 13	12 07	0 92	0 09	0 00	0 00	0 00	0.00	0.00
1975	0.00	0 02	1 96	2 26	7 56	0 46	1 90	0 10	0 01	0 00	0 00	0 00
1976	0.00	0 02	0 20	3 27	0 21	0 04	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1977	0 00	0 05	0 14	1 38	0 60	0 70	0 19	0 06	0 00	0 00	0 00	0 00
1978	0 00	0 01	0 05	0.29	1 16	0 17	0 06	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00
1979	0 00	0 00	0 01	0 00	0 03	0 03	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1980	0 00	0 51	1 74	0 10	0 04	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1981	0 00	0 00	5 32	1 22	0 10	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1982	0 00	0 01	0.04	0 71	0 36	0 08	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1983	0 00	0 66	0 06	0 03	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1984	0 01	0 00	0 09	2.04	1 19	0 12	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1985	1 59	7 88	10 25	9 91	6 38	1 07	0 20	0 05	0 00	0 00	0 00	0 13
1986	0 02	0 73	5 99	2.70	0 31	0 12	0 12	0 02	0 00	0 00	0 00	0 00
1987	0 00	0 00	1 13	0 13	0 10	0 02	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00	0 00
1988	0 00	0 00	1 44	3 62	1 82	0 11	0 04	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00
MÉDIA	0 15	0 64	2 60	4 10	1 92	0 36	0 10	0 01	0 00	0 00	0 00	0 00

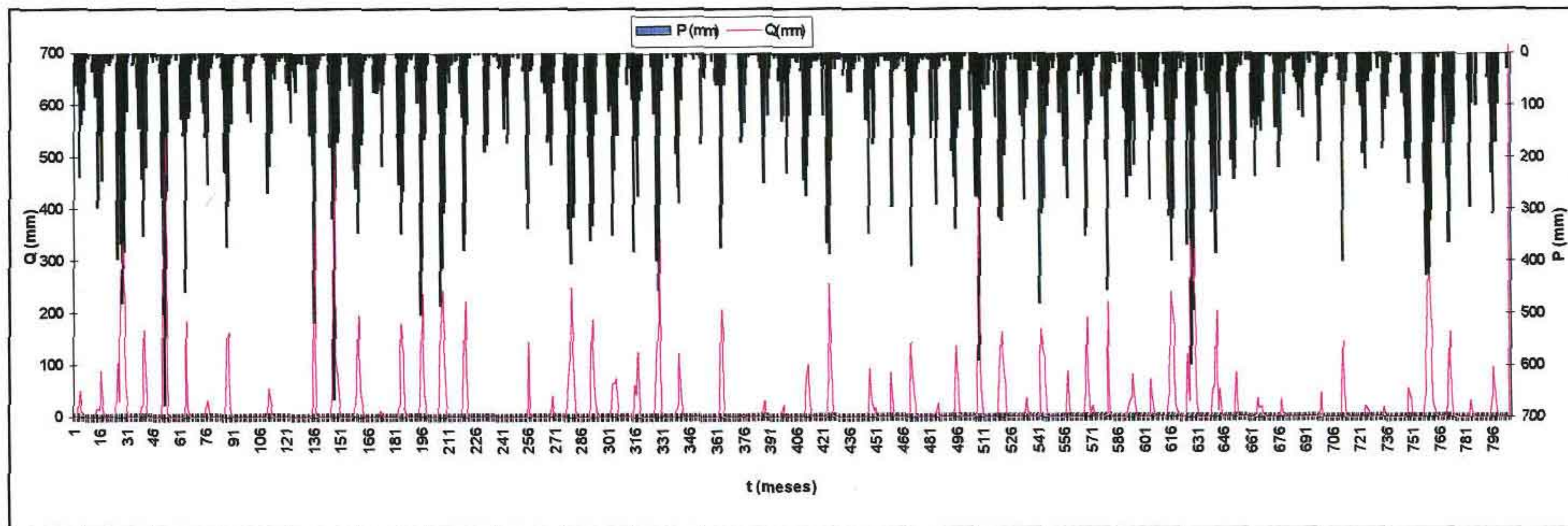


Figura 4.6 - Resultados da Simulação com o Modelo MODHACX para a Bacia do Cauhupe (1922-1988).

CAPÍTULO 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. A inexistência de dados sobre os eventos na bacia a ser estudada indicou 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 hietograma 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-1⁸

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Açude Cauhipe 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 Sítios Novos, 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.

⁸US ARMY CORPS OF ENGINEERS - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, 1990. HEC-1 FLOOD HYDROGRAPH PACKAGE - USERS MANUAL, 415 p.

5.1.1 - Precipitação

Para cálculo do escoamento superficial para a bacia do Cauhipe 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-freqüência 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 associada ao tempo de retorno de 1000 anos sem aplicar o fator redutor de área.

Quadro 5.1 - Chuva Pontual (mm)

Duração	5'	15'	1h	2h	3h	6h	12h	24h
P (mm)	Tr = 1 000 anos							
	27,7	55,6	109,3	146,4	189,6	234,3	275,2	313,6
P (mm)	Tr = 10 000 anos							
	44,2	78,1	153,7	205,8	296,3	366,2	430,1	490,2

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; ΔH = diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e o exutório. Logo, para a bacia do Sítios Novos tem-se.

Seção Cauhupe: $L = 14 \text{ km}$

$\Delta H = 350 \text{ m}$

o que resulta $TC = 2,1 \text{ h}$; $TLAG = 1,26 \text{ h}$

Estes dados são necessários 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).

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 tabelas⁹

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 muito 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

⁹ PONCE, V M , 1989 ENGINEERING HYDROLOGY PRINCIPLES AND PRACTICES PRENTICE HALL, NEW JERSEY, 640 p

A chuva de projeto associada ao tempo de retorno de 1000 anos foi aquela correspondente a uma duração igual ao tempo de concentração. Obteve-se a partir das curvas altura-duração-frequência de Fortaleza os totais precipitados aos intervalos $1/6 \cdot t_c$. A partir desta série de precipitação acumulada calcula-se a precipitação efetiva utilizando-se o método curva número. Depois de obtida a precipitação efetiva, procede-se uma reordenação dos valores precipitados de modo a manter o pico no terceiro quartil (Quadro 5.2)

Quadro 5.2 - Cálculo do Hietograma de Projeto para a bacia contribuinte do reservatório Cauhipe usando o Hidrograma Triangular ($T_r = 1000$ anos).

CN = 78.

DT (h)	PAcum (mm)	S (mm)	Pef Ac (mm)	Pef (mm)	Pef Ord (mm)	DPef (mm)	Qp (i=1 6) (m3/s)	Tp (h)	Tb (h)	Q pico (m3/s)
0,35	62,76	71,64	19,54	19,54	8,07	10,80	147,22	1,43	3,83	902,47
0,70	87,82		37,21	17,68	10,80	17,68	240,98	1,78	3,83	
1,05	111,16		55,66	18,44	11,10	19,54	266,28	2,13	3,83	
1,40	124,14		66,46	10,80	17,68	18,44	251,36	2,48	3,83	
1,75	137,13		77,56	11,10	18,44	11,10	151,31	2,83	3,83	
2,10	146,40		85,63	8,07	19,54	8,07	109,99	3,18	3,83	

DT - tempo

S - Armazenamento

PAcum - Precipitação Acumulada

Pef Ac - Precipitação Efetiva Acumulada

Pef - Precipitação Efetiva

Pef Ord - Precipitação Efetiva Ordenada

DPef - PefOrd Desagregada

Qp - Vazão de pico de cada hidrograma

Tp - Tempo de pico de cada hidrograma

Tb - Tempo de base de cada hidrograma

Qpico - Vazão de pico do hidrograma total (após convolução)

Para a bacia do Cauhipe foi estimado um CN = 78 com base nos tipos e usos dos solos, sendo adotado um CN = 78 (AMC II)

5.1.3 - Hidrograma Unitário

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 km², e por ser construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas. Além disto, este modelo necessita apenas de um parâmetro: o TLAG. Este parâmetro, TLAG, 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 (m³/s), t_p = tempo de pico do hidrograma (h), A = área da bacia em km² e Δt = o intervalo de cálculo em horas ($\Delta t = t_c/6$).

5.2 - RESULTADOS

A adoção de cheias de projeto da magnitude da cheia máxima provável não se justifica para o reservatório em estudo, por sua localização, capacidade e finalidades. Assim, dentro desta perspectiva, optou-se por utilizar a cheia associada ao hietograma de 1.000 anos e verificar posteriormente para o hietograma de 10.000 anos.

Para a bacia contribuinte ao reservatório Cauhipe que possui um tempo de concentração $t_c = 2,10$ horas, resulta: $t_b = 3,83$ horas, $\Delta t = 0,35$ horas, $t_p = 1,43$ horas e $q_p = 136,31$ m³/s/cm.

Então, já podemos traçar o Hidrograma Unitário Triangular (Figura 5.1 abaixo) correspondente a cada intervalo de chuva efetiva e a partir deste faz-se a convolução obtendo-se assim, o hidrograma total. Após a convolução dos seis hidrogramas, obteve-se uma vazão de pico igual a 902,47 m³/s, conforme Quadro 5.1 apresentado anteriormente.

Os hidrogramas afluentes para os tempos de retorno 1.000 e 10.000 anos encontram-se apresentados nas figuras 5.1 e 5.2. O pico do hidrograma afluente ao açude Cauhipe associado aos tempos de retorno 1.000 e 10.000 anos foram respectivamente de 902,47 m³/s e 2038,65 m³/s.

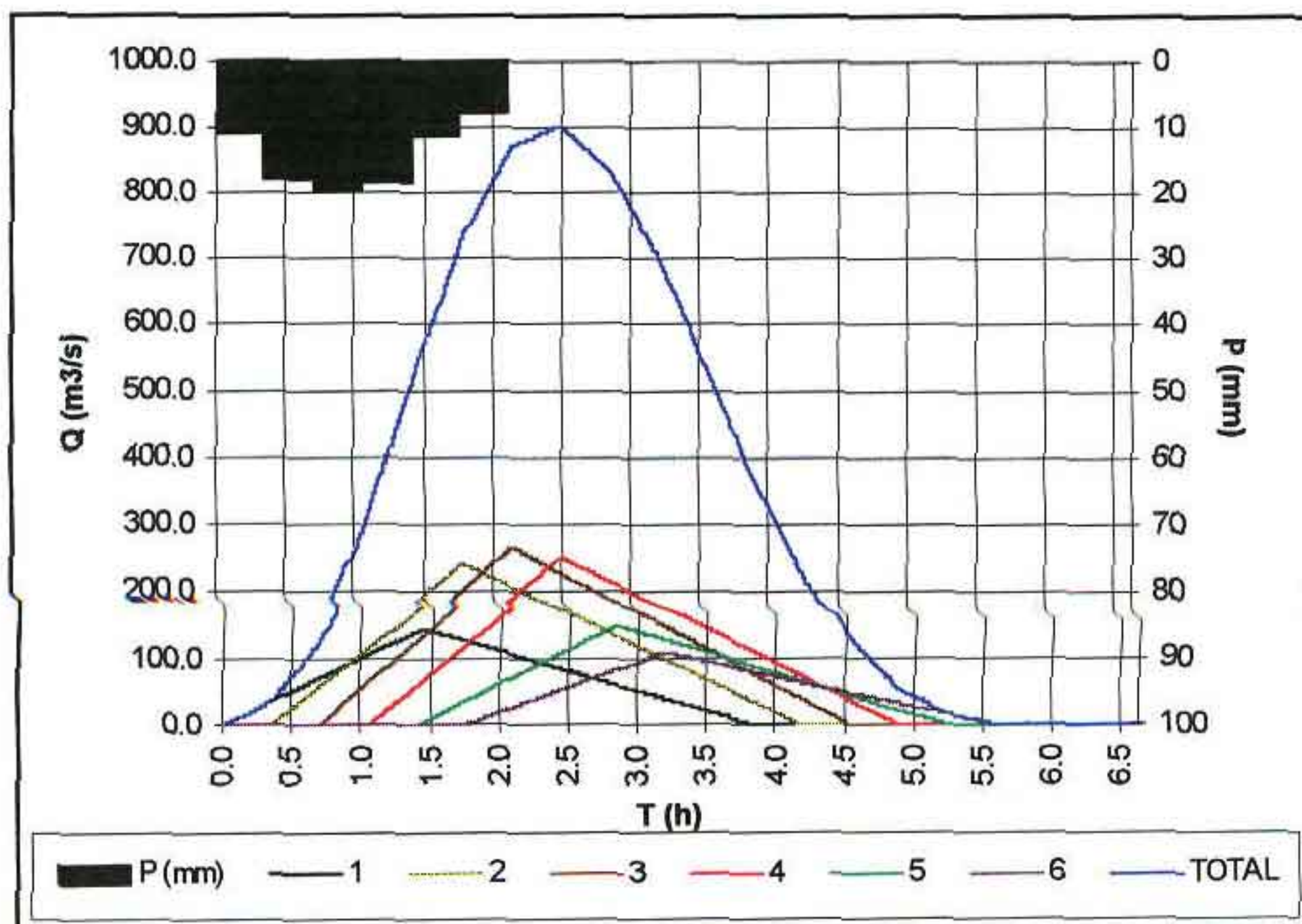


Figura 5.1 - Hidrograma Afluyente associado ao tempo de retorno 1.000 anos. Açude Cauhipe.

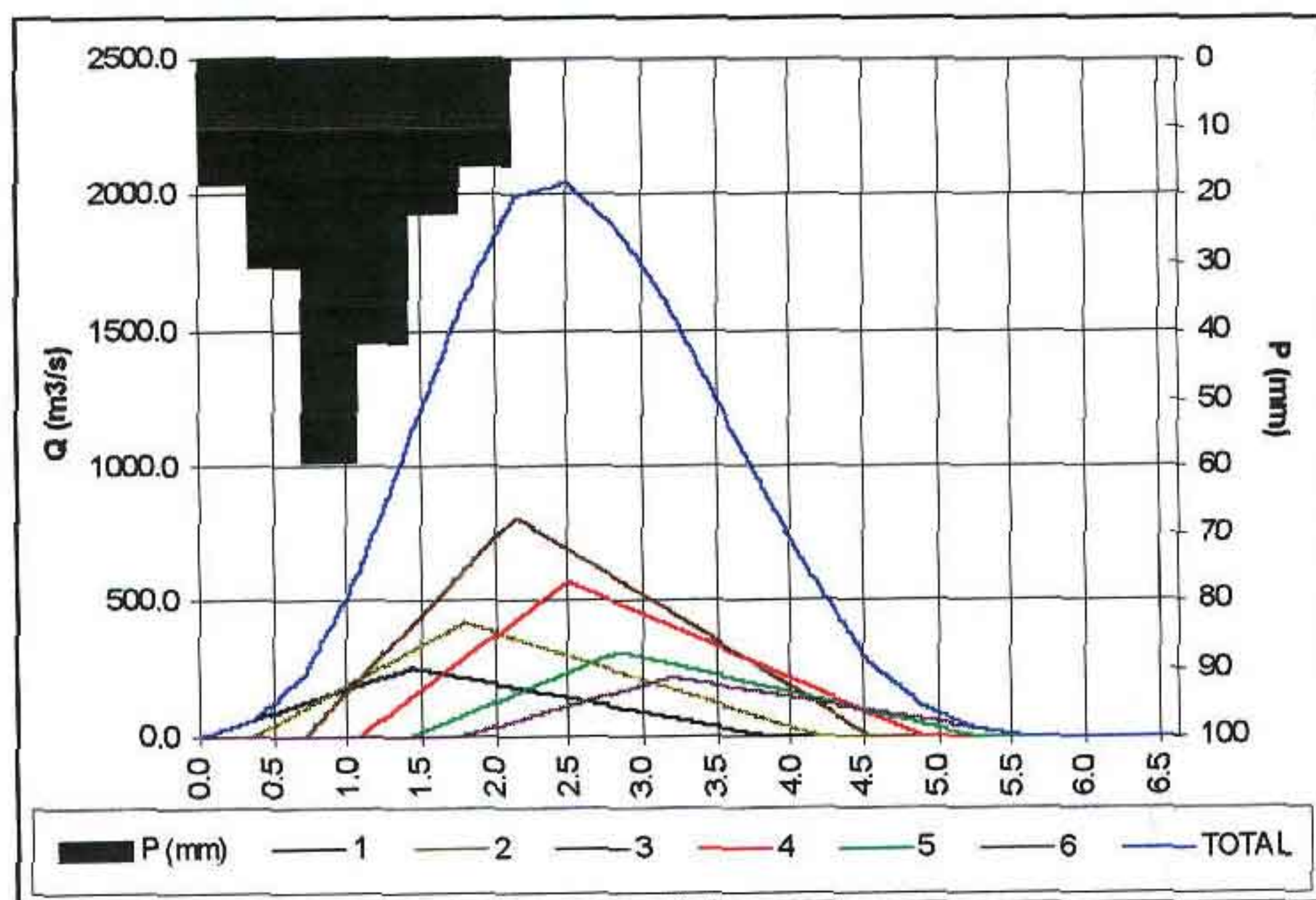


Figura 5.2 - Hidrograma Afluyente associado ao tempo de retorno 10.000 anos. Açude Cauhipe.

CAPÍTULO 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 Cauhipe,
2. estimativa das perdas por evaporação e sangria da Barragem Cauhipe.

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 o método da solução direta do balanço hídrico, sendo também utilizados os métodos abaixo para comparação dos valores obtidos da capacidade de regularização do reservatório

- Diagrama Triangular de Regularização¹⁰;
- Simulação da Operação do Reservatório utilizando-se como Série Afluente aquela gerada pelo MODHAC - Programa Opera (Plano Estadual de Recursos Hídricos - Ceará)

¹⁰ CAMPOS, J.N.B. 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMITENTES. TESE PARA CONCURSO DE PROF TITULAR UFC

6.2.1 - Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico

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

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

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 α - 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)¹¹, a saber:

¹¹ CAMPOS, J.N.B. 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMITENTES TESE PARA CONCURSO DE PROF TITULAR. UFC

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

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

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

$$DS = \text{MAX}(Z_t + I_t - K; 0)$$

onde ZU é o volume armazenado no final da estação e DS 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) retirada 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

$$D_M = Z_1 - Z_2$$

ATUALIZAÇÃO DO NÍVEL DO RESERVATÓRIO

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

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

$$Z_3 = \alpha \cdot h_3^3$$

VOLUME UTILIZADO

$$D_E = Z_3 - Z_2$$

d) retoma-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 retoma-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 $E\{\cdot\}$ 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)¹²

6.2.3 - Simulação com a Série Afluente do MODHAC - Programa Opera

Devido a ocorrência de falhas em longos períodos de liberações de vazão, no PERH-CE (Plano Estadual de Recursos Hídricos - Ceará) estabeleceu-se o conceito de volume de alerta. Assim, na operação do reservatório, retira-se uma vazão Q_{90A} (vazão regularizada com 90% de garantia sem volume de alerta) constante enquanto o volume do reservatório estiver acima deste volume de alerta. Ao atingir o volume de alerta, retira-se uma vazão $Q_{emerg} < Q_{90A}$ (vazão regularizada com 90% de garantia com volume de alerta) - a demanda de emergência, capaz de garantir o fornecimento em grande parcela dos períodos considerados como secos. A representação deste volumes encontra-se esquematicamente representada na Figura 6.1 abaixo.

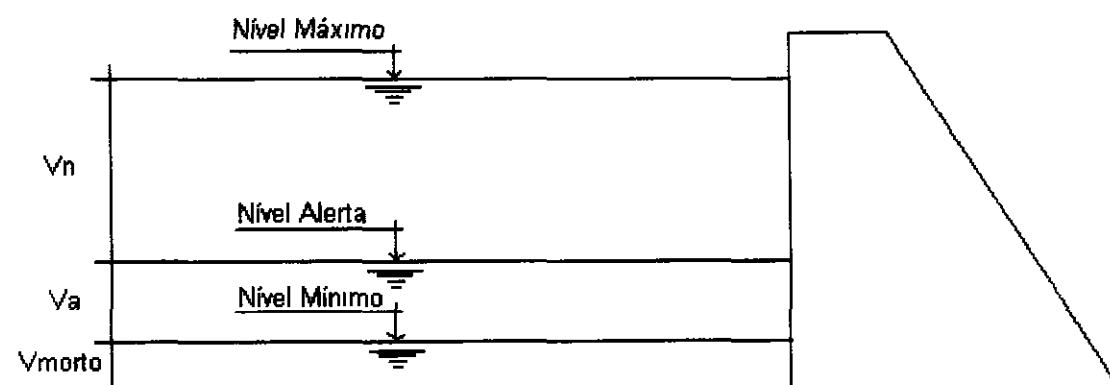


Figura 6.1 - Representação Esquemática dos Níveis Operacionais

¹²CAMPOS, J.N.B. 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMITENTES. TESE PARA CONCURSO DE PROF TITULAR. UFC

Ainda segundo o PERH-CE, adotou-se que o fornecimento desta vazão de emergência se dá em 80% do total do período crítico. Foi simulada a operação do reservatório com uma demanda de emergência igual a 50% de Q_{90A} .

6.3 - RESULTADOS

Como mencionado no capítulo 4 deste relatório, foi realizada novamente a calibração do modelo MODHAC utilizando a estação Sítios Novos e, após isto, a geração da série de vazões afluentes ao reservatório Cauhipe. As características da série gerada são as seguintes:

- lâmina média escoada: 260 mm
- volume afluente médio escoado (m): 25,969 hm³
- coeficiente de variação (CV) 1,05
- coeficiente de deflúvio: 25%

No caso da *Solução Direta da Equação do Balanço Hídrico*, as características do regime fluviométrico acima foram utilizadas para a geração da série afluente ao reservatório. Para aplicação deste método faz-se necessário a determinação do fator de forma a , lâmina evaporada e fator adimensional de evaporação e capacidade. O fator adimensional de capacidade é variável, uma vez que pretende-se analisar o ganho na regularização em função do aumento da capacidade. Assim,

$$a = 15446,18$$

$$E = 0,8 \cdot (94,7 + 118,3 + 151,8 + 167,8 + 173,5 + 168,1 + 154,3)^{13}$$

¹³ INEMET, 1991 - NORMAIS CLIMATOLÓGICAS

$$E = 822,8 \text{ mm}$$

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

$$f_E = 0,208$$

Com base nestes valores utilizou-se a solução direta da equação do balanço hídrico para o estudo incremental de capacidades do açude Cauhipe. No Quadro 6.1 apresenta-se o percentual e seu valor correspondente dos volumes regularizados, evaporados e sangrados em função de f_K , assim como a vazão regularizada com 90% de garantia. A figura 6 2 apresenta as curvas de regulação para o reservatório, que nada mais é que a representação gráfica dos valores apresentados no Quadro 6.1 O Quadro 6.1 mostra que para a cota 37 tem-se uma vazão de 0,132 m³/s com 90% de garantia.

Quadro 6 1 - Estudo incremental de capacidades do açude Cauhipe

90% de Garantia. (CAMPOS, 1990)¹⁴

Cota (m)	K (hm3)	fk=K/m	%LIB	LIB (hm3/a no)	%EV	EV (hm3/a no)	%SG	SG (hm3/a no)	dM/dK	Q90 (m3/s)
34 0	3 353	0 13	7 00	1 727	3 40	0 840	89 50	21 936	----	0 058
35 0	5.243	0.20	9.20	2 252	5 00	1 218	85 80	21 031	0 278	0 075
36 0	7 986	0 31	12 60	3 087	6 70	1 653	80 60	19 755	0 304	0 103
37 0	11 376	0 44	16 70	4 096	8 60	2 105	74 70	18 290	0 298	0 132
38 0	15 357	0 59	21.40	5 251	10.40	2 551	68.10	16.686	0 290	0 175
39 0	20 559	0 79	27 60	6 752	12 30	3 015	60 10	14 720	0 289	0 228
40 0	26 691	1 03	30 90	7 574	15 00	3 660	54 10	13 246	0 134	0 254

LIB - VOLUME LIBERADO

SG - VOLUME SANGRADO

EV - VOLUME EVAPORADO

¹⁴ CAMPOS, J.N.B. 1990, REGULARIZAÇÃO DE VAZÕES EM RIOS INTERMITENTES. TESE PARA CONCURSO DE PROF. TITULAR. UFC.

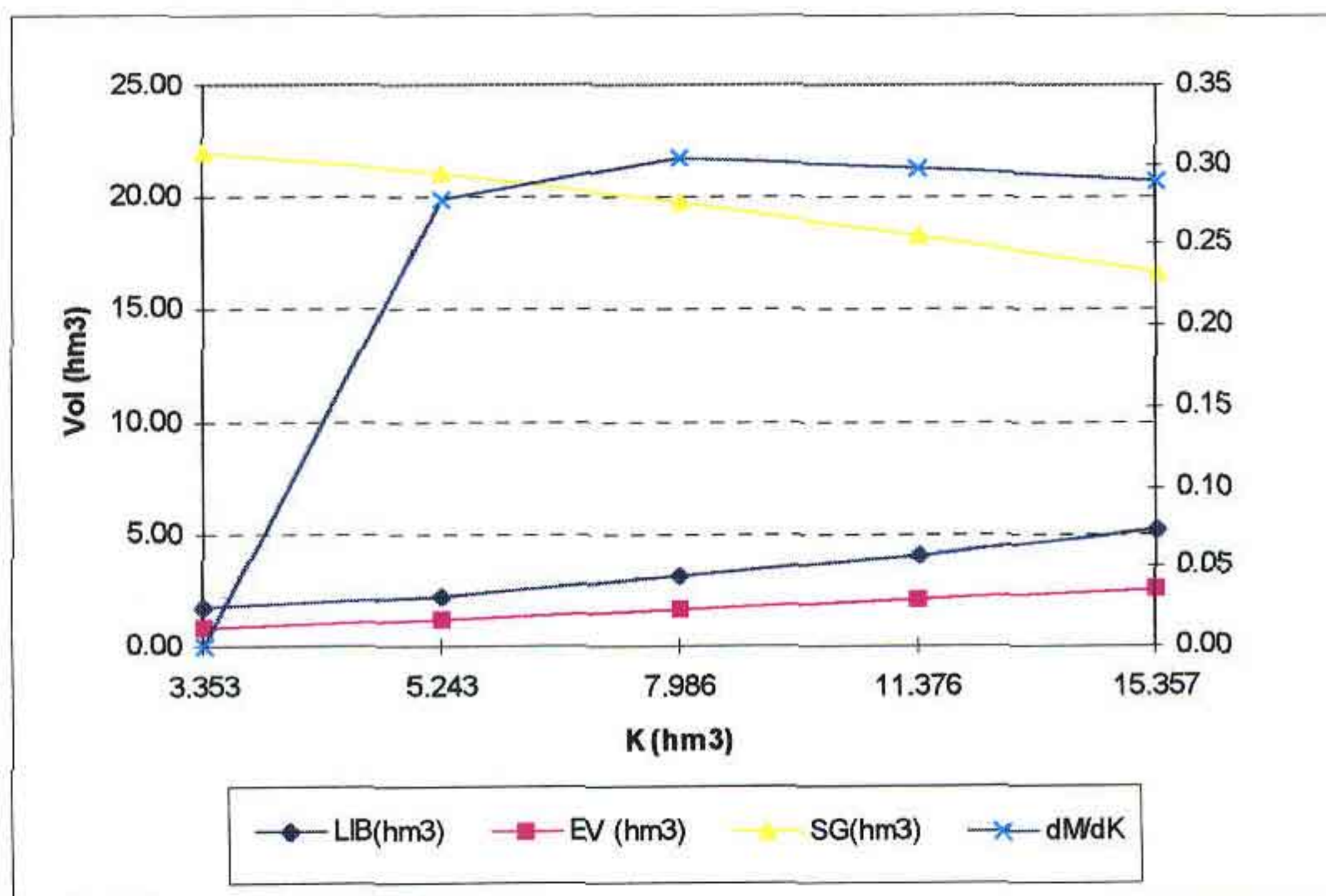


Figura 6.2 - Curvas de Regulação do Reservatório Cauhipe.

Utilizando-se o método do Diagrama Triangular de Regularização com $f_E = 0,21$, $f_K = 0,44$ e $CV = 1,1$, obtém-se um volume de 4,280 hm³ regularizado anualmente, ou em termos de vazão, $Q_{90} = 0,137$ m³/s. Este valor está bem próximo ao valor obtido pela solução direta da equação do balanço hídrico (Quadro 6.1). A Figura 6.3 apresenta o Diagrama Triangular ($CV = 1,10$) e nele o caso da Barragem Cauhipe.

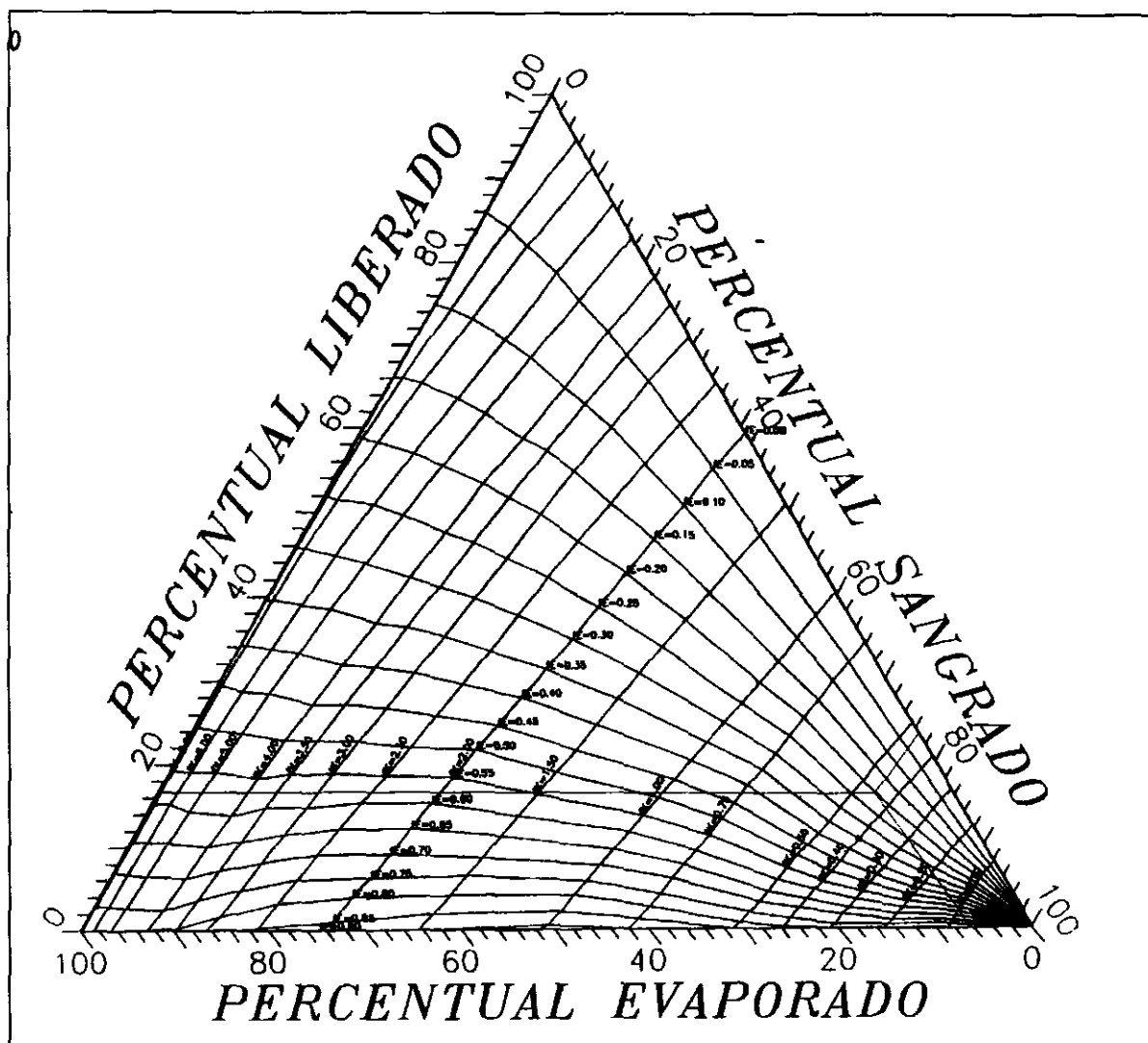


Figura 6.3 - Diagrama Triangular de Regularização para CV = 1,10 Açude Cauhipe

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 programa opera, conforme regra operacional anteriormente definida, para várias alternativas. Foram estudados, para vários valores de cota máxima, as vazões regularizadas com volume de alerta. Os resultados destas simulações estão sumarizados nos Quadros 6.2 a 6.4 abaixo, onde:

Q_{90A} - Vazão com 90% de Garantia associada a um Volume de Alerta que atende em 80% do tempo de falha a uma Demanda de Emergência igual à 50% de Q_{90A} .

Quadro 6.2 - Alternativas para a barragem Cauhipe segundo a regra de operação do PERH-CE

COTA (m)	VOL. MAX (m ³)	VMIN (m ³)	VOL UTIL (m ³)	VOL ALERTA (m ³)	Q90A (m ³ /s)
34 00	3353174 44	234722 21	3118452 23	1170242 25	0 059
35 00	5243356 44	367034 95	4876321 49	1829907 00	0 089
36 00	7986424 73	559049 73	7427374 99	2230170 50	0 131
37 00	11375585 22	852853 40	10522731 82	2957400 00	0 170
38 00	15356535 89	852853 40	14503682 49	3753590 00	0 217

Até agora todas as metodologias empregadas só visam determinar a eficiência hidrológica do reservatório, porém, a determinação do tamanho do reservatório necessitará, além desta informação, o custo da obra. Assim, para este dimensionamento hidrológico-econômico da capacidade do açude a ser 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 pares (cota, custo) foi determinada a curva de custo do m³ regularizado associado a 90% de garantia.

CAPÍTULO 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, calculando-se a laminação correspondente para cada alternativa de sangradouro e, finalmente, determinando-se a cota de coroamento da barragem com base na cheia associada a 10.000 anos a fim de garantir o não galgamento nesta cheia

A partir 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 $t+1$; Δt = 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 $Q=f(S)$, constroi-se uma função $Q=h(Q+2S/Dt)$, 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

Neste estudo foram consideradas duas opções de sangradouro: Perfil Creager e Labirinto No caso de perfil Creager foi adotado um coeficiente de descarga é igual a 2,18. A equação utilizada para o vertedouro foi.

$$Q = C.L.(Z - Z_w)^{3/2}$$

onde

Z = cota (m);

S = armazenamento (m³);

Q = vazão (m³/s),

C = coeficiente de descarga;

L = largura do sangradouro (m),

Z_w = cota da soleira do sangradouro

De posse dos dados geométricos do sangradouro foi realizado o estudo de laminação para as larguras de 150, 200, 250 e 300 m.

O sangradouro tipo labirinto cujo esquema é apresentado na figura 7.1 abaixo, tem as seguintes características:

$$a = 0 \quad b = 31,62 \quad c = 30$$

$$W'' = 200 \quad w = 20 \quad P = 1,75 \quad w/P = 1,45$$

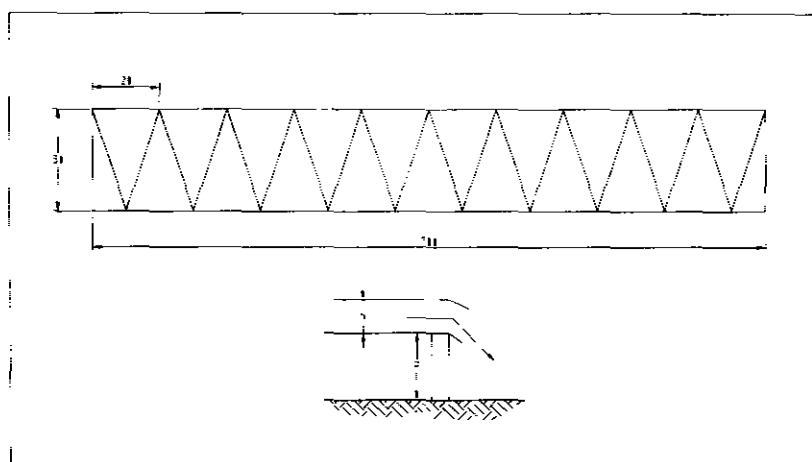


Figura 7.1 - Esquema do sangradouro tipo Labirinto

A relação Lâmina x Descarga (figura 7.2) foi aqui obtida segundo a metodologia de MAGALHÃES ()¹⁵, sendo que a partir da lâmina 1,05 m ($h/P > 0,6$) o sangradouro passa a funcionar como um sangradouro de parede espessa com coeficiente de descarga 1,7. Apesar de obviamente existir uma descontinuidade nesta suposição, não foi aqui estabelecida nenhuma tentativa de uma transição, devendo-se considerar a curva $Q \times h$ como uma envoltória de mínimos, ou seja, situação mais desfavorável.

¹⁵ MAGALHÃES, A P , O DESCARREGADOR EM LABIRINTO DA BARRAGEM DO DUNGO RBE - ANAIS SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO SOBRE SIMULAÇÃO EM HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS

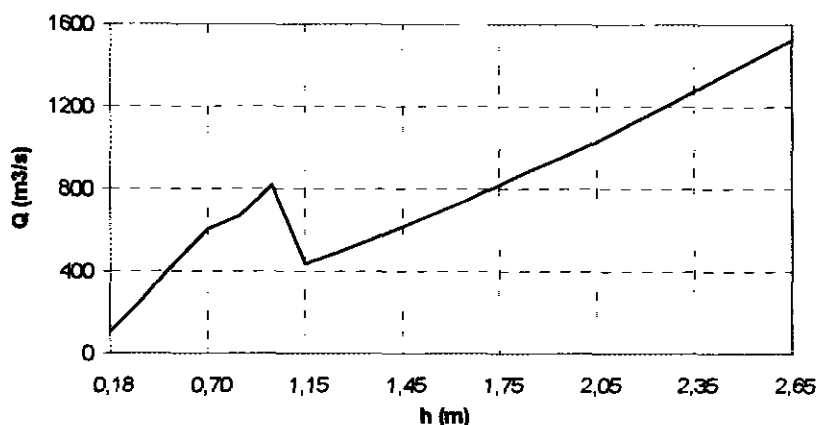


Figura 7.2 - Relação Vazão x Lâmina para o Sangradouro Labirinto

7.2 - RESULTADOS

Como auxílio na definição da dimensão do reservatório Cauhipe, foi realizado o estudo de laminação para as várias larguras de sangradouro, ficando para o estudo definitivo a laminação da cheia de 10.000 anos. Este procedimento visa garantir que a barragem não seja galgada naquela cheia, servindo, assim, para a definição da cota de coroamento da barragem.

Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro 7.1 para várias alternativas de sangradouro, usando-se como hidrograma de projeto aquele associado ao tempo de retorno de 1.000 anos. Os hidrogramas efluentes associados a 1.000 anos de tempo de retorno estão apresentados na Figura 7.3. Analogamente, o Quadro 7.2 e a Figura 7.4 mostram as mesmas informações, desta vez referentes à cheia decamilenar.

Quadro 7.1 - Vazões de pico e lâminas resultantes da simulação para a cheia afluente correspondente a $Tr=1000$ anos (Q_p afluente = 902,47 m³/s)

Largura (m)	Q_p efluente (m ³ /s)	Cota do pico(m)	Lâmina máxima (m)
150 00	442,87	38,22	1,22
200 00	509,72	38,11	1,11
250 00	559,64	38,02	1,02
300 00	600,68	37,94	0,94

Quadro 7.2 - Vazões de pico e lâminas resultantes da simulação para a cheia afluente correspondente a $Tr=10000$ anos (Q_p afluente = 2038,65 m³/s)

Largura (m)	Q_p efluente (m ³ /s)	Cota do pico(m)	Lâmina máxima (m)
150,00	1176,63	39,37*	2,37
200,00	1132,04	39,11*	2,11
250,00	1443,20	38,91	1,91
300,00	1523,67	38,76	1,76

(*) Cheia efluente atingiu cota superior às informações disponíveis na curva cota X volume

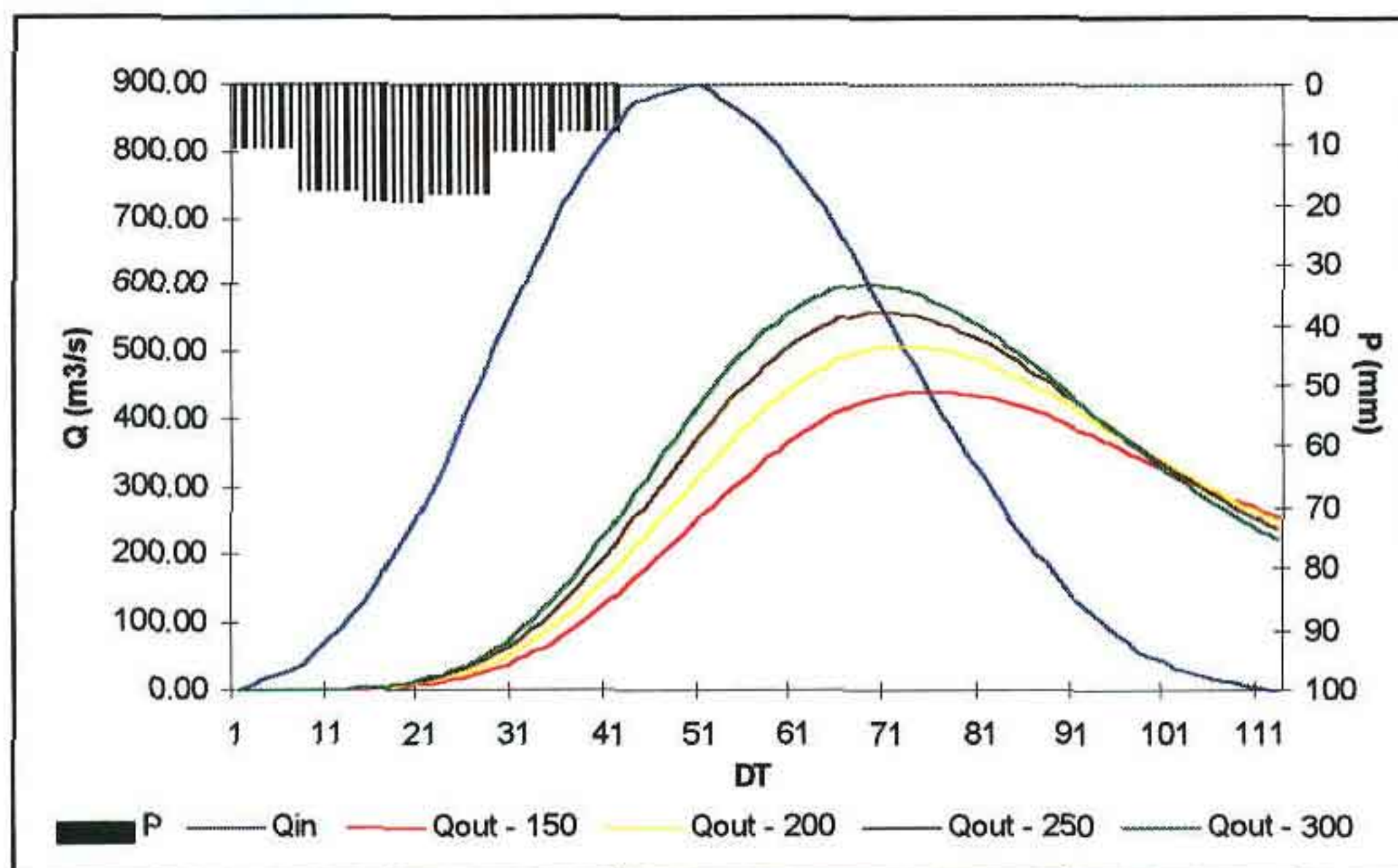


Figura 7.3 - Hidrogramas afluentes e efluentes associados a 1.000 anos de tempo de retorno para várias larguras de sangradouro.

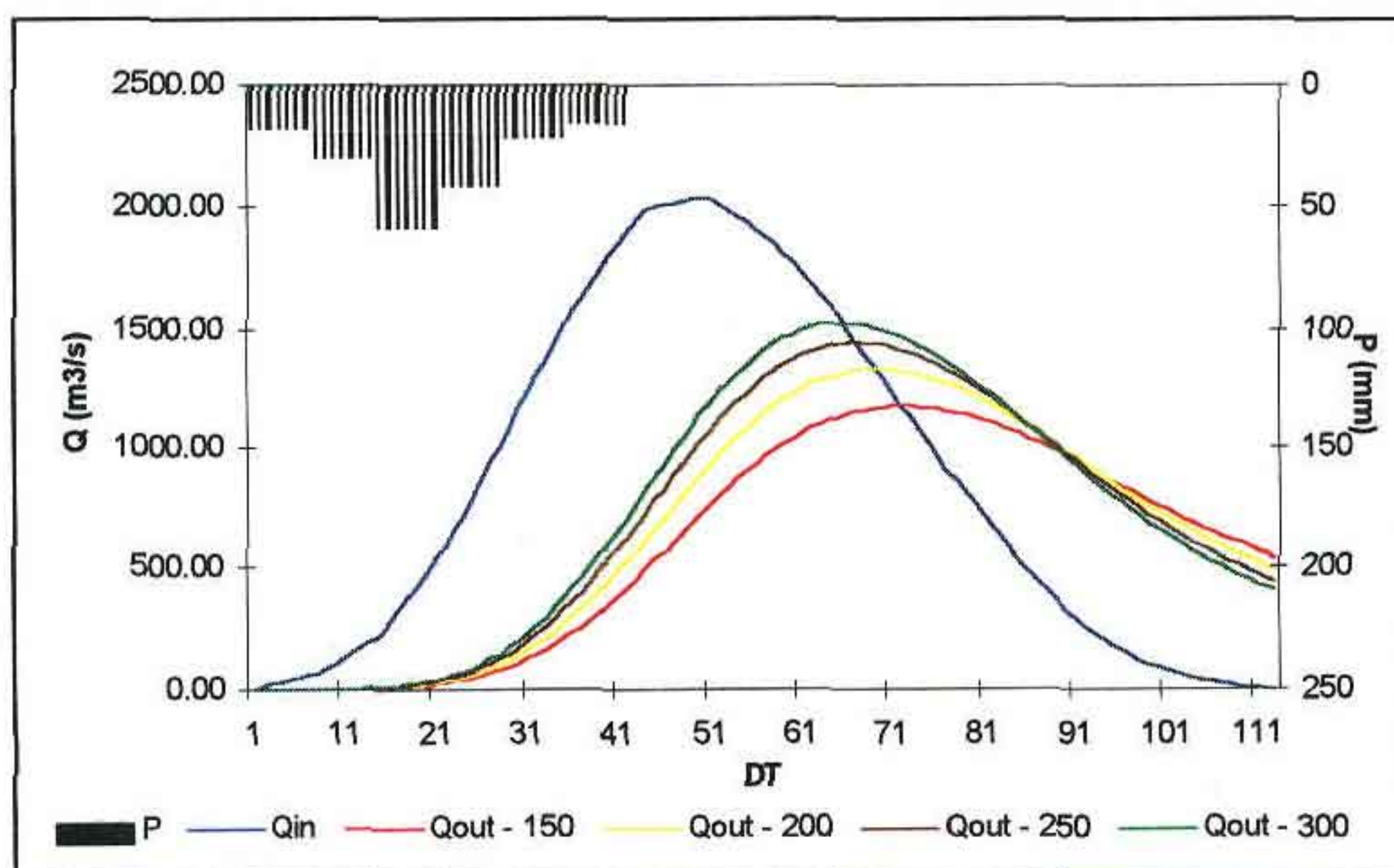


Figura 7.4 - Hidrogramas afluentes e efluentes associados a 10.000 anos de tempo de retorno para várias larguras de sangradouro.

Os picos dos hidrogramas de entrada e saída, a cota e altura da lâmina vertida encontram-se no Quadro 7.3 para sangradouro labirinto com $W'' = 200$ m para 1000 e 10000 anos. O hidrogramas efluente associado a 1.000 anos de tempo de retorno estão apresentados na Figura 7.5. Analogamente, a Figura 7.4 apresenta o hidrograma efluente associado à cheia decamilenar. O pico associado a 1000 anos é de $489,99 \text{ m}^3/\text{s}$ (lâmina = $0,88$ m), sendo o pico associado a 10000 anos $1175,68 \text{ m}^3/\text{s}$ (lâmina = $2,22$ m).

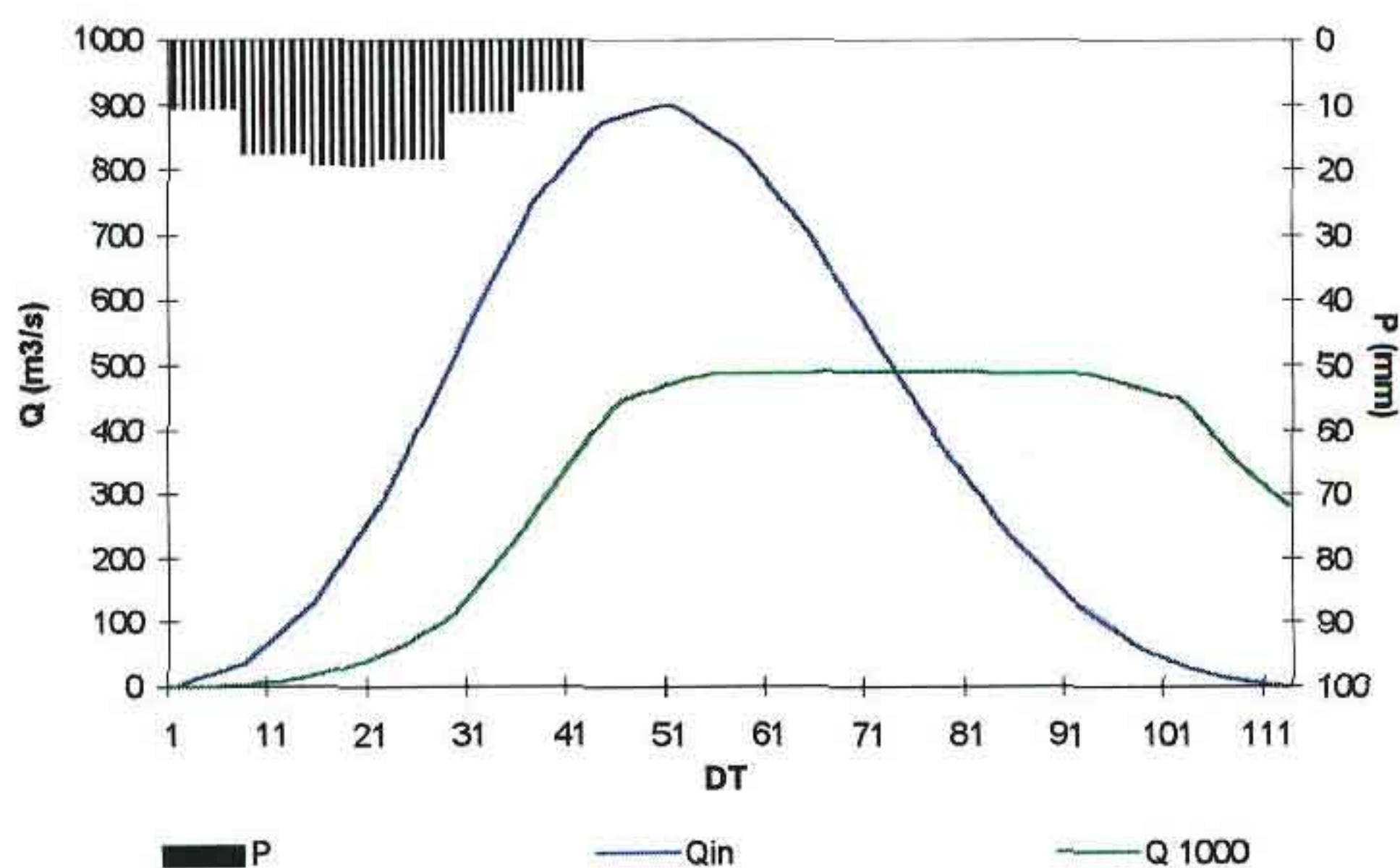


Figura 7.5 - Hidrograma Efluente associado a 1.000 anos de tempo de retorno para sangradouro tipo labirinto.

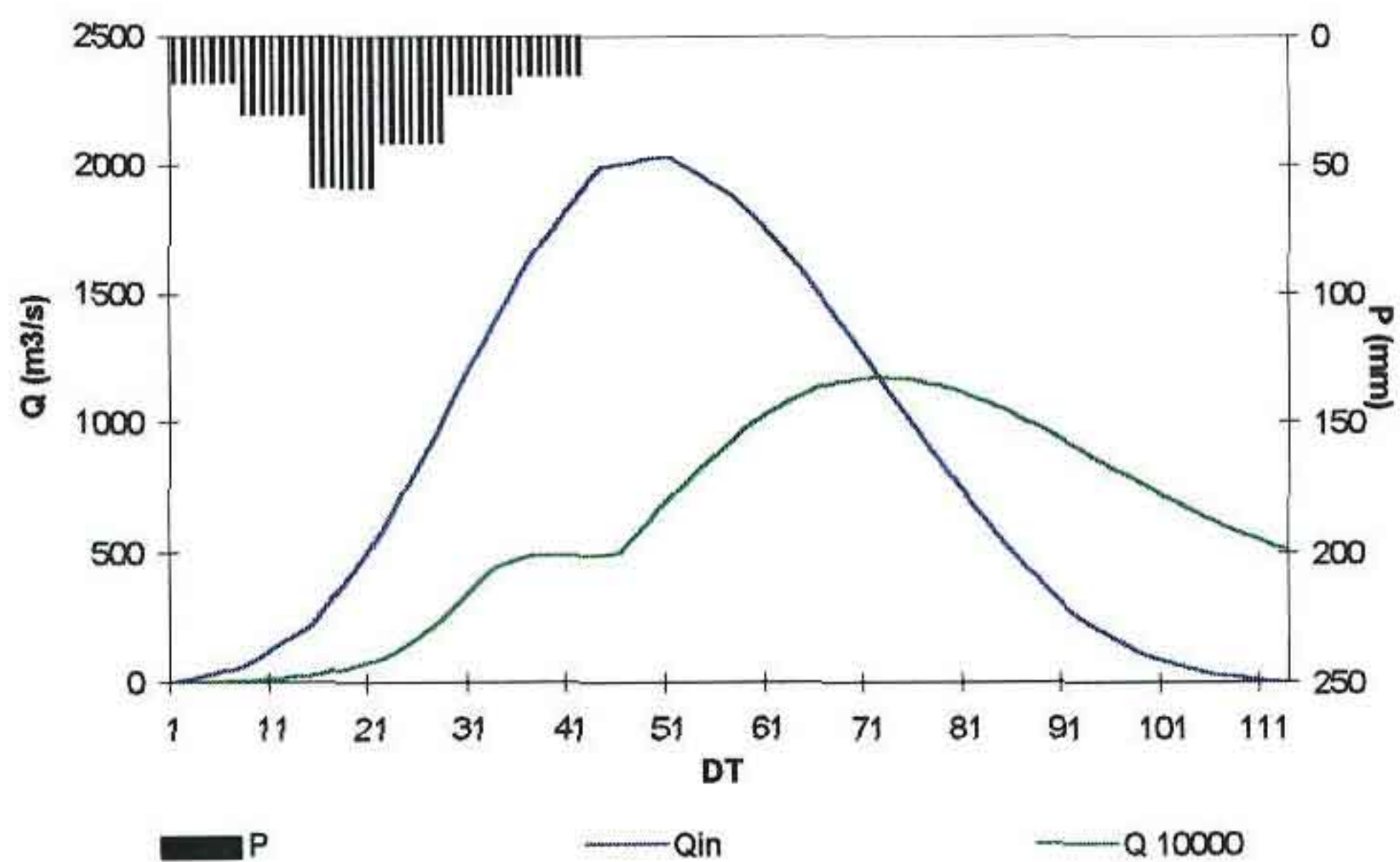


Figura 7.6 - Hidrograma Efluente associado a 10.000 anos de tempo de retorno para sangradouro tipo labirinto.

CAPÍTULO 8 - ESTUDOS COMPLEMENTARES

8 - ESTUDOS COMPLEMENTARES

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 enchimento do reservatório na fase de equilíbrio;

8.2 - ESTUDO DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA

O estudo da disponibilidade hídrica do reservatório Cauhipe compreende o estudo das probabilidades de enchimento na fase transiente e de esvaziamento e enchimento do reservatório na fase de equilíbrio. 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 técnico na teoria estocástica de reservatórios ou Teoria de Moran¹⁶, 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

¹⁶ MORAN, P A P. 1959. THE THEORY OF STORAGE LONDON METHUEN & CO LTD, 111 p

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

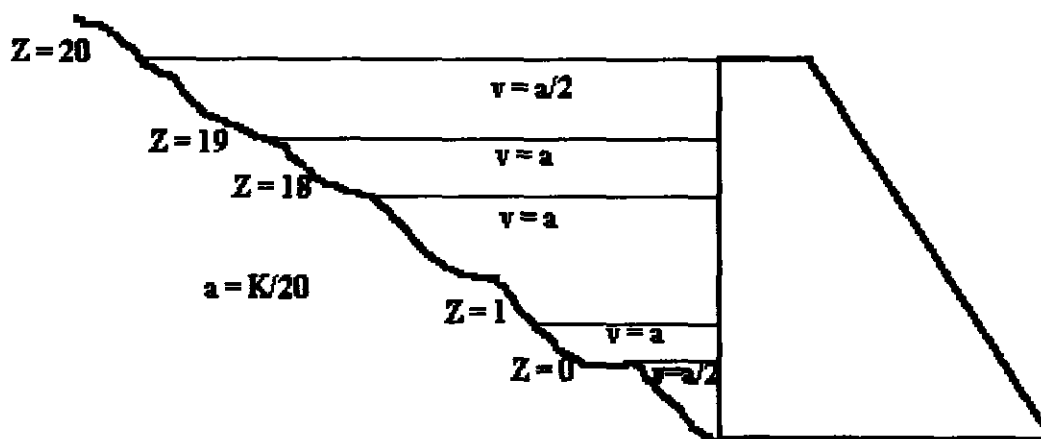


Figura 8.1 - Espaço de definição dos estados de reserva

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^3), 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:

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

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

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

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, $Qr90/4$, $Qr90/2$, $3 \cdot Qr90/4$ e $Qr90$ (Quadro 8.2). Como pode-se observar pela figura 8.2, a retirada de $Qr90$ ao atingir o equilíbrio tem uma garantia próxima a 90%, como era esperado (volume anual regularizado com 90% de garantia). Na figura 8.2 apresenta-se as curvas de garantia para as retiradas de 0, $Qr90/4$, $Qr90/2$, $3 \cdot Qr90/4$ e $Qr90$.

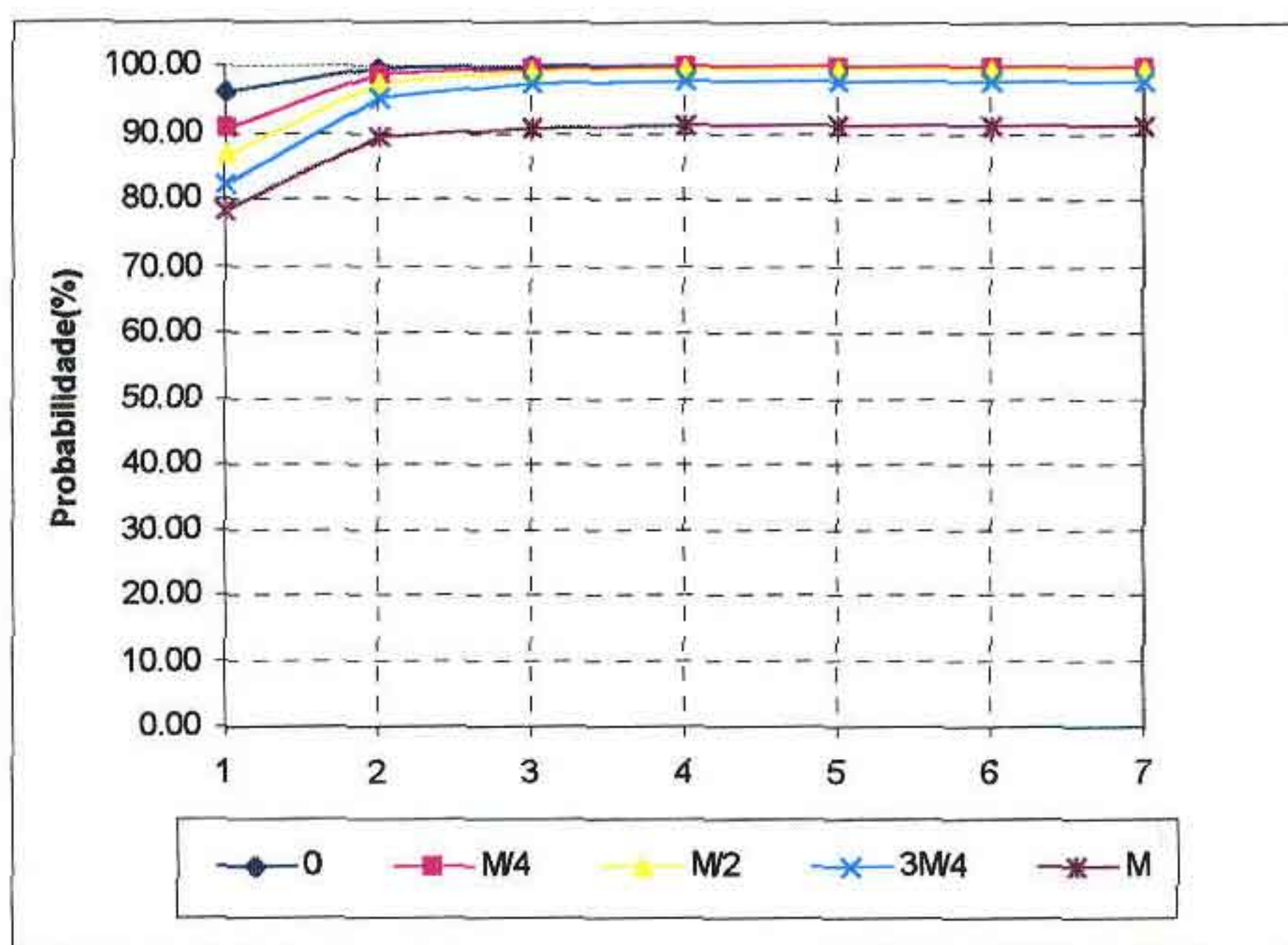


Figura 8.2 - Análise Probabilística da Garantia do Reservatório - fase transiente
M= Qr90

Quadro 8.2 - Análise Probabilística do Enchimento do Reservatório na Fase Transiente. Reservatório inicialmente seco.

ANO	0	M/4	M/2	3M/4	M
1	95.90	90 69	86 84	82 07	78 05
2	99 72	98 71	97 32	95 14	89 23
3	99.98	99 77	99 28	97 45	90 77
4	100.00*	99 95	99 67	97 86	90 98
5	100 00	99 99*	99 75	97 93	91 01
6	100 00	99 99	99 76	97 94	91 02*
7	100 00	99 99	99 77*	97 95*	91 02

M = Retirada anual (hm³)

* 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, no equilíbrio, em cerca de 73,1% dos anos ocorre sangria para uma retirada anual de 4,096hm³. 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 4,096hm³/ano tem-se uma probabilidade de esvaziamento na fase de equilíbrio igual a 9%, o que implica em uma garantia próxima a 90%

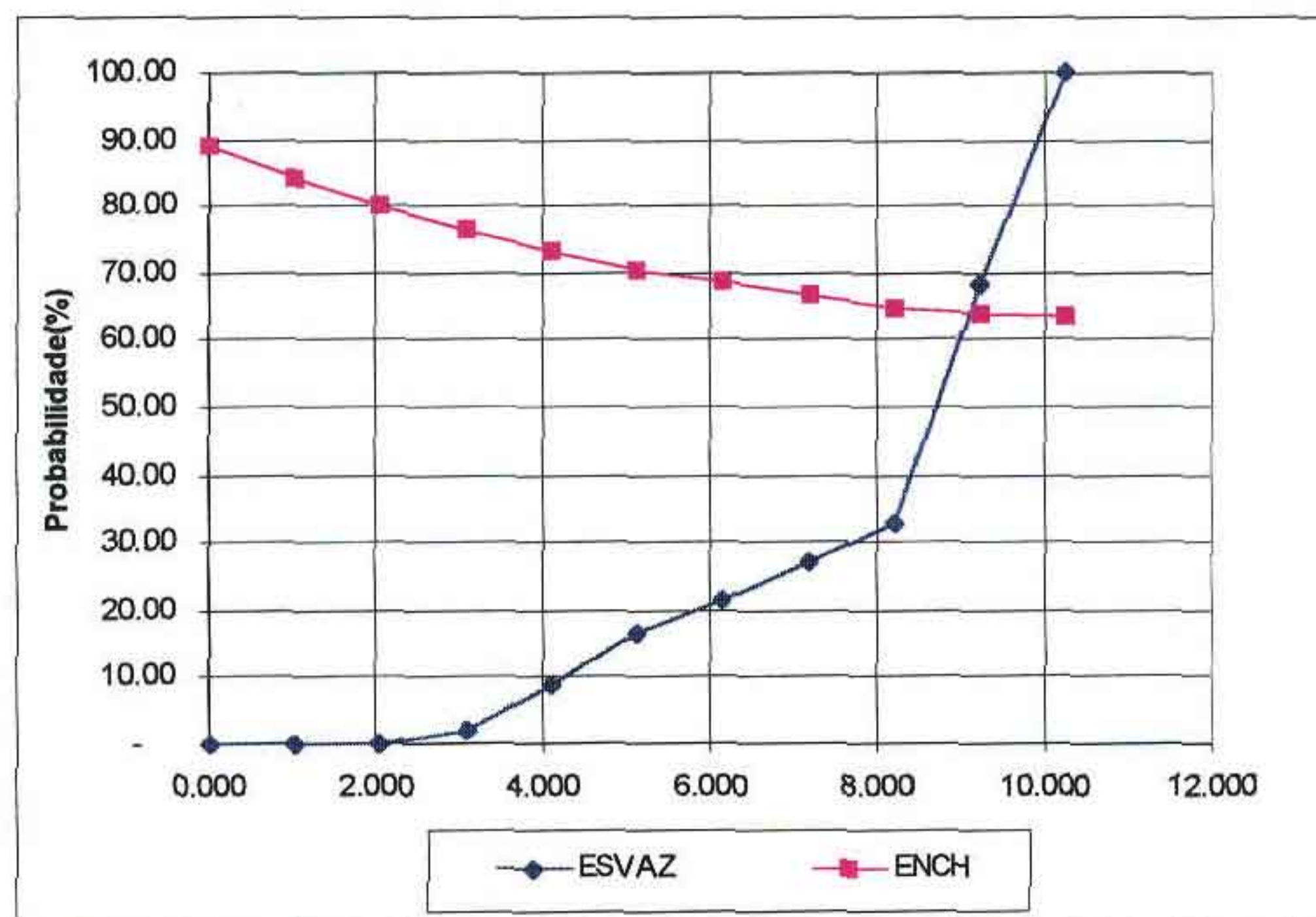


Figura 8.3 - Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio

Quadro 8.3 - Análise Probabilística de esvaziamento e enchimento - fase de equilíbrio

RETIRADA	ESVAZIAMENTO	ENCHIMENTO
0.000	-	88.83
1.024	-	84.10
2.048	0.20	80.20
3.072	2.10	76.40
4.096	9.00	73.10
5.120	16.50	70.20
6.144	21.40	68.90
7.168	27.10	66.70
8.192	32.90	64.80
9.216	68.30	63.70
10.240	100.00	63.30