

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ
SECRETARIA DOS RECUSOS HÍDRICOS - SRH

PROJETO EXECUTIVO DE AMPLIAÇÃO DO AÇUDE ITAPEBUSSU, EM MARANGUAPE-CE.
VOLUME II – ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Fortaleza, Agosto de 2015.

Sumário

1	Introdução	4
2	Caracterização da bacia hidrográfica	8
2.1	Introdução	9
2.2	Climatologia.....	12
2.2.1	Evaporação.....	14
2.2.2	Resumo da climatologia e balanço hídrico	14
2.2.3	Balanço hídrico.....	15
3	Pluviometria.....	17
3.1	Considerações iniciais	17
3.2	Dados brutos e estações analisadas.....	17
3.3	Regime médio mensal	17
3.4	Chuvas intensas.....	18
3.5	Série pluviométrica mensal.....	20
4	Regime de Vazões.....	23
4.1	Introdução	24
4.2	Modelo Chuva-Vazão.....	24
4.2.1	Comcepção do Modelo	24
4.2.2	Regionalização dos Parâmetros do SMAP	24
4.3	Resultados da simulação.....	25
5	Redimensionamento do Reservatório	30
5.1	Considerações iniciais	31
5.2	Metodologia.....	31
5.3	Resultados	33
6	Redimensionamento do Vertedouro	37
6.1	Considerações iniciais	38
6.2	Metodologia.....	38
6.2.1	Chuva de projeto	38
6.2.2	Precipitação efetiva e hidrograma de projeto	38
6.2.3	Propagação da cheia no reservatório	40
6.3	Resultados	40
6.3.1	Hidrogramas de projeto.....	41
6.3.2	Propagação da cheia e análise de alternativas	42

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Açude Itapebussu.....	11
Tabela 2 – Principais variáveis que caracterizam a climatologia da bacia do Açude Itapebussu.....	12



Tabela 3 – Evaporação potencial sobre a bacia hidrográfica.....	14
Tabela 4 - Resumo da climatologia.....	14
Tabela 5 – Balanço hídrico climatológico segundo Thornthwaite & Matter.....	15
Tabela 6 – Estações pluviométricas analisadas	17
Tabela 7 – Pluviometria observada por estação (mm).....	17
Tabela 8 – Índice de concentração das chuvas mensais.....	18
Tabela 9 – Análise de frequência a nível diário [mm] (máximos anuais, distribuição Pearson III)19	
Tabela 10 – Chuvas intensas (mm) - valores para determinação das curvas altura-duração-frequência.....	20
Tabela 11 – Série de pluviometria média sobre a bacia hidrográfica do Açude Itapebussu (mm)20	
Tabela 12 – Série de deflúvios calculados (mm) com o modelo SMAPm.....	26
Tabela 13 – Série de vazões afluentes (m ³ /s) calculadas com o modelo SMAPm	28
Tabela 14 – Valores resultantes do estudo incremental de capacidades – barragem Itapebussu34	
Tabela 15 – Propagação no vertedor soleira espessa (somente largura 90m), Qafluente = 546,2 m ³ /s	42
Tabela 16 – Propagação no vertedouro creager (cota 116.5, variando a largura)	43
Tabela 17 - Propagação no vertedouro creager (cota 117.0, variando a largura).....	44
Tabela 18 - Propagação no vertedouro creager (cota 117.5, variando a largura).....	44
Tabela 19 – Propagação no vertedouro creager (cota 116.5, variando a largura)	45
Tabela 20 - Propagação no vertedouro creager (cota 117.0, variando a largura).....	46
Tabela 21 - Propagação no vertedouro creager (cota 117.5, variando a largura).....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Bacia hidrográfica do Açude Itapebussu, imagem LANDSAT8 de 03/Junho/2014 (Fusão da banda pancromática / Composição RGB 4-3-2).....	9
Figura 2 - Bacia hidrográfica e postos pluviométricos do Açude Itapebussu.....	10
Figura 3 - Relevo da bacia hidrográfica (cotas conforme MDE - SRTM da NASA).....	11
Figura 4 – Principais parâmetros condicionantes da climatologia sinótica	13
Figura 5 – Gráfico do balanço hídrico climatológico.....	15
Figura 6 -Grupos de estações – Itapebussu/Tanques e Palmácia/Sítio Bica	18
Figura 7 - Análise de frequência – nível diário (Pearson III), Itapebussu, n=41	19
Figura 8 -Análise de frequência – nível diário (Pearson III), Palmácia, n=51	19
Figura 9 – Cálculo do parâmetro de forma da bacia hidráulica (α).....	34
Figura 10 – Repartição dos Volumes afluentes versus capacidade máxima do açude Itapebussu35	
Figura 11 – Variação da liberação (M) como a capacidade útil máxima (K).....	36
Figura 12 – Hidrograma afluente de projeto (Tr = 1000 anos)	41
Figura 13 – Hidrograma afluente para verificação do não galgamento maciço (Tr = 10000 anos)42	
Figura 14 - Amortecimento da cheia de projeto na situação atual (cota 116.35 m; Vertedor soleira espessa, Largura de 90 metros)	43
Figura 15 - Amortecimento da cheia de projeto da alternativa A3 (cota 117.5 m; Vertedor ogee, Largura de 90 metros).....	45
Figura 16- Amortecimento da cheia decamilinear da alternativa A3 (cota 117.5 m; Vertedor ogee, Largura de 90 metros).....	47



APRESENTAÇÃO

.....

Apresentação

A CONSTRUTEC ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA, atendendo às atribuições do Contrato firmado com a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, em conformidade com o Processo Licitatório – Tomada de Preço N.º 18/SRH/CE/2014, vem desenvolvendo o Projeto Executivo de Ampliação da Barragem Itapebussu, no município de Maranguape, no Estado do Ceará.

O presente documento consta do Volume II – Estudos Hidrológicos.

O referido projeto será apresentado através dos relatórios, divididos em volumes, abaixo relacionados.

PROJETO EXECUTIVO DE AMPLIAÇÃO DA BARRAGEM ITAPEBUSSU

- Volume I – Levantamentos topográficos e diagnóstico da situação atual;
- Volume II – Estudos Hidrológicos
- Volume III – Estudos Geotécnicos
- Volume IV – Relatório Geral, Quantitativos e Notas de Serviço
- Volume V – Estudo de Viabilidade Ambiental (EVA)
- Volume VI – Especificações Técnicas



INTRODUÇÃO

.....

1 Introdução

O presente estudo tem como objetivo conhecer os fenômenos hidroclimatológicos que condicionam o comportamento da bacia hidrográfica do Açude Itapebussu. Por conseguinte, fornece elementos essenciais para o redimensionamento da capacidade das estruturas hidráulicas de emergência (vertedouro) e de controle (tomada d'água) para a nova situação projetada.

A sequência do texto reflete, de uma maneira geral, o fluxo de trabalho para chegar aos resultados finais, partindo da compreensão da variabilidade natural das forçantes climáticas, detalhando, em particular, o regime de chuvas e de deflúvios. Outras informações importantes dizem respeito aos valores extremos da pluviometria e as vazões máximas associadas a um determinado risco de ocorrência. Estas últimas são indispensáveis para analisar alternativas viáveis e seguras para o acréscimo de altura da barragem, como se propõe o projeto executivo de ampliação da barragem.

Este relatório compõe-se dos seguintes capítulos, seguindo o desenvolvimento das várias etapas do estudo hidrológico: caracterização geral da bacia e climatologia; estudo da pluviometria; regime de vazões naturais; redimensionamento do reservatório e redimensionamento do vertedor.



CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

.....

2 Caracterização da bacia hidrográfica

2.1 Introdução

A bacia hidrográfica do Açude Itapebussu possui 75,7 km² de área e tem seu exutório nas coordenadas 4°3'30"S 38°54'10"W. Seus terrenos cobrem parte dos municípios de Maranguape e de Palmácia.

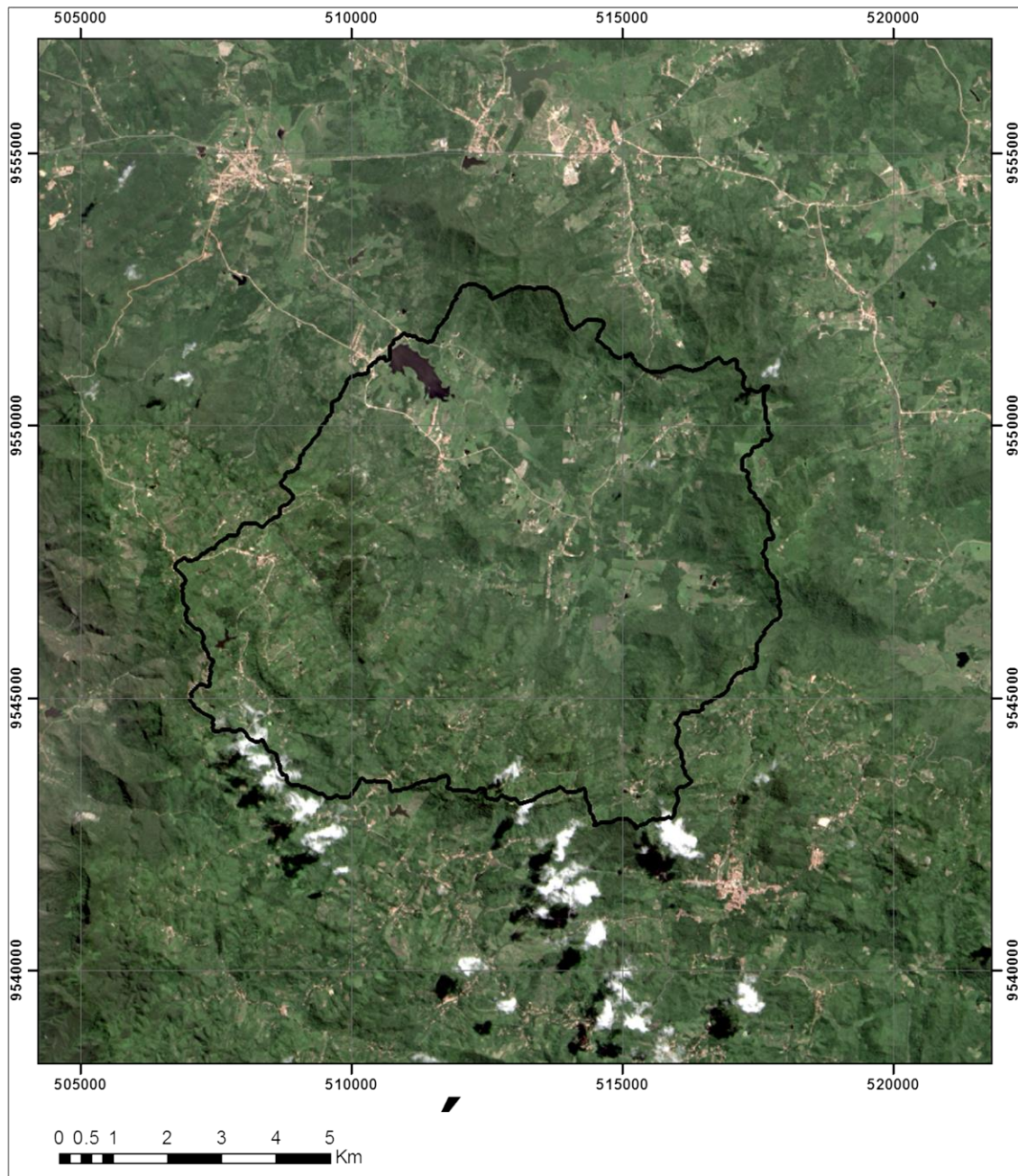


Figura 1 – Bacia hidrográfica do Açude Itapebussu, imagem LANDSAT8 de 03/Junho/2014 (Fusão da banda pancromática / Composição RGB 4-3-2)

A disposição espacial da bacia hidrográfica, georreferenciada ao datum SIRGAS 2000, e do Açude Itapebussu é mostrada no mapa da Figura 1. Também é possível ver o modelo digital de elevação da bacia hidrográfica de conforme o SRTM da NASA, com 30 metros de resolução horizontal, bem

como a localização dos postos pluviométricos de referência para o estudo (Figura 2) e a representação do relevo obtida neste trabalho (Figura 3).

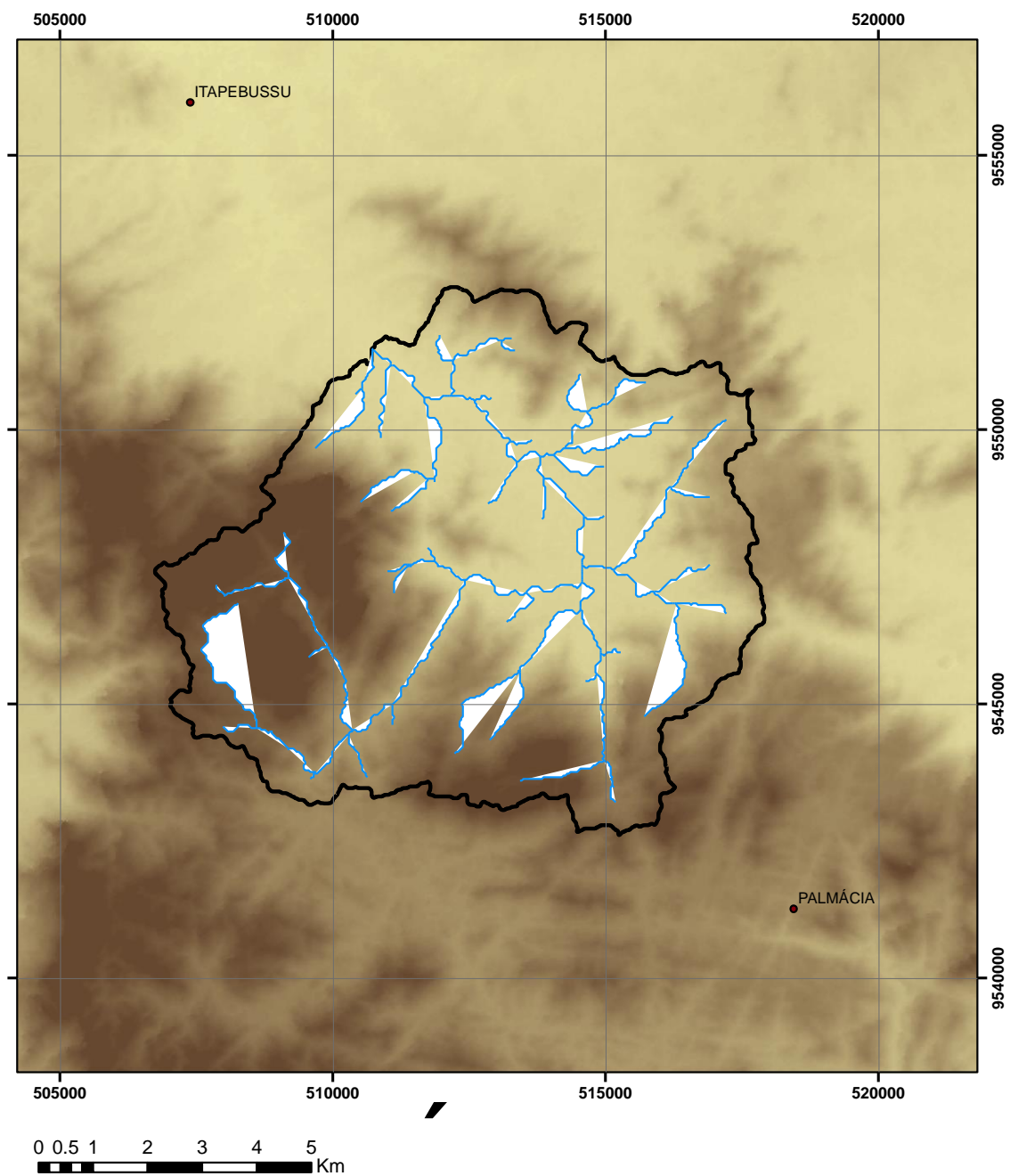


Figura 2 - Bacia hidrográfica e postos pluviométricos do Açude Itapebussu

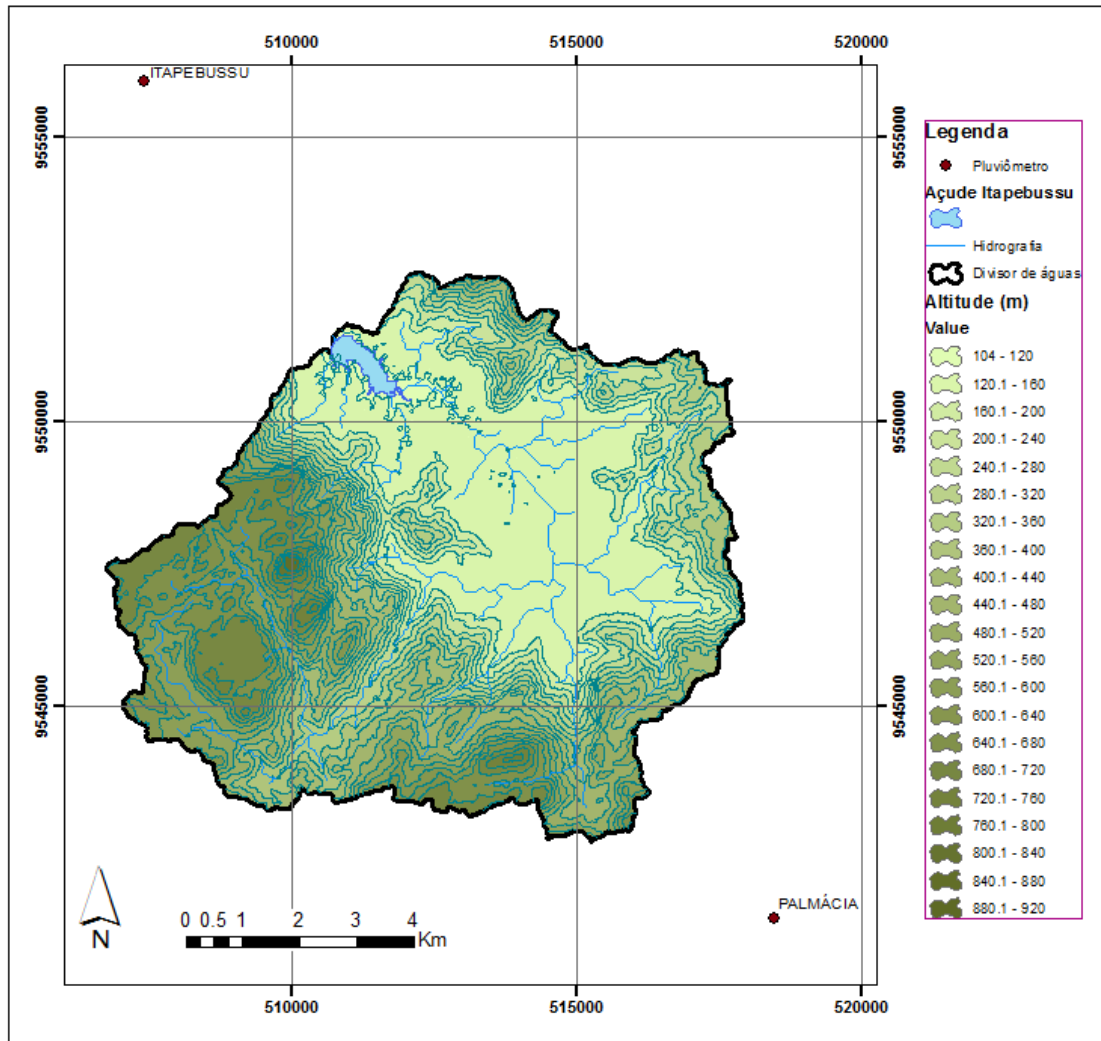


Figura 3 - Relevo da bacia hidrográfica (cotas conforme MDE - SRTM da NASA)

Tabela 1 - Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Açude Itapebussu

Área da bacia hidrográfica do Açude Itapebussu	75,7 km²
Perímetro da bacia hidrográfica Açude Itapebussu	42,6 Km
Comprimento do rio principal	17,9 Km
Densidade de drenagem (escala 1:100.000)	1,073 km/km²
Fator de compacidade: $K_c = \frac{P}{\sqrt{A}}$	1,371
Fator de forma: $K_c = \frac{P}{L^2}$	0,236
Índice de circularidade: $I_c = 12,57 \frac{A}{P^2}$	0,524
Tempo de concentração:	2,5 horas

2.2 Climatologia

2.2.1 KLJEFG

Os dados climáticos utilizados são provenientes das normais da estação climatológica do Fortaleza, mantida pelo INMET¹, sendo que a pluviometria corresponde à das estações constantes do banco de dados da ANA, no local do projeto. A situação de latitude baixa da bacia hidrográfica leva geralmente a uma pressão atmosférica elevada na sua superfície, com valores médios em torno de 1008 hPa. A influência da ZCIT é marcante nesta região do Brasil, favorecendo o típico clima bi-estacional com grande déficit na segunda metade do ano. Durante a estação chuvosa, apesar de alguns efeitos de sombra das serras que a circundam, a bacia é afetada diretamente por tempestades convectivas intensas favorecidas diretamente pelos fluxos de umidade providos do oceano atlântico.

Tabela 2 – Principais variáveis que caracterizam a climatologia da bacia do Açude Itapebussu

Mês	Temperatura (°C)			Umidade Relativa (%)	Veloc. do Vento (m/s)	Precip. (mm)	Nebulos. dec	Insol. (h/mês)	Pressão (hPa)
	Max.	Min.	Média						
Jan	30.5	24.4	27.1	78.1	3.13	121.5	0.6	225.2	1007.4
Fev	30.1	24.0	26.9	81.4	2.58	160.2	0.6	182.3	1007.5
Mar	29.7	23.6	26.4	84.7	2.13	251.6	0.7	150.0	1007.6
Abr	29.7	23.4	26.2	85.2	2.02	268.1	0.7	157.1	1007.8
Mai	29.9	23.3	26.2	83.6	2.25	172.1	0.6	208.4	1008.5
Jun	29.6	22.8	25.8	81.0	2.70	90.2	0.5	238.7	1009.9
Jul	29.5	22.4	25.6	78.8	3.20	54.1	0.4	268.3	1010.6
Ago	29.9	22.7	26.0	75.3	3.89	14.5	0.3	295.9	1010.0
Set	30.2	23.4	26.4	74.4	4.55	11.5	0.4	281.6	1009.9
Out	30.5	24.1	26.9	74.0	4.10	11.0	0.4	291.4	1008.7
Nov	30.7	24.4	27.2	73.7	4.07	13.8	0.5	282.2	1008.2
Dez	30.7	24.6	27.3	75.9	3.96	37.2	0.5	262.3	1007.8
Média anual:	30.1	23.6	26.5	78.8	Total anual:	1205.8		2843.4	1008.7

O clima da bacia do Rio São Gonçalo é caracterizado por alta incidência de radiação solar, uma variação diurna de temperatura de amplitude variável entre 7 e 12K, umidade relativa do ar média mensal na estação seca de 75,4% e na estação chuvosa de 82,3%, sendo que a durante o dia, diminui para 50% com frequência. A temperatura média máxima é de 30.1°C é registrada em dezembro. A precipitação extremamente variável e a taxa de evaporação e elevada. A precipitação média anual soma 1205.8 mm com um coeficiente de variação de 0,32. Por outro lado, cerca de 60% deste total estão concentrados no trimestre março-abril-maio. As chuvas durante os eventos sinóticos influenciados pela ZCIT são tipicamente intensos.

¹ INMET, Normais Climatológicas (1961-1990); Min. da Agric. e Reforma Agrária, Brasília, Brasil, 1992

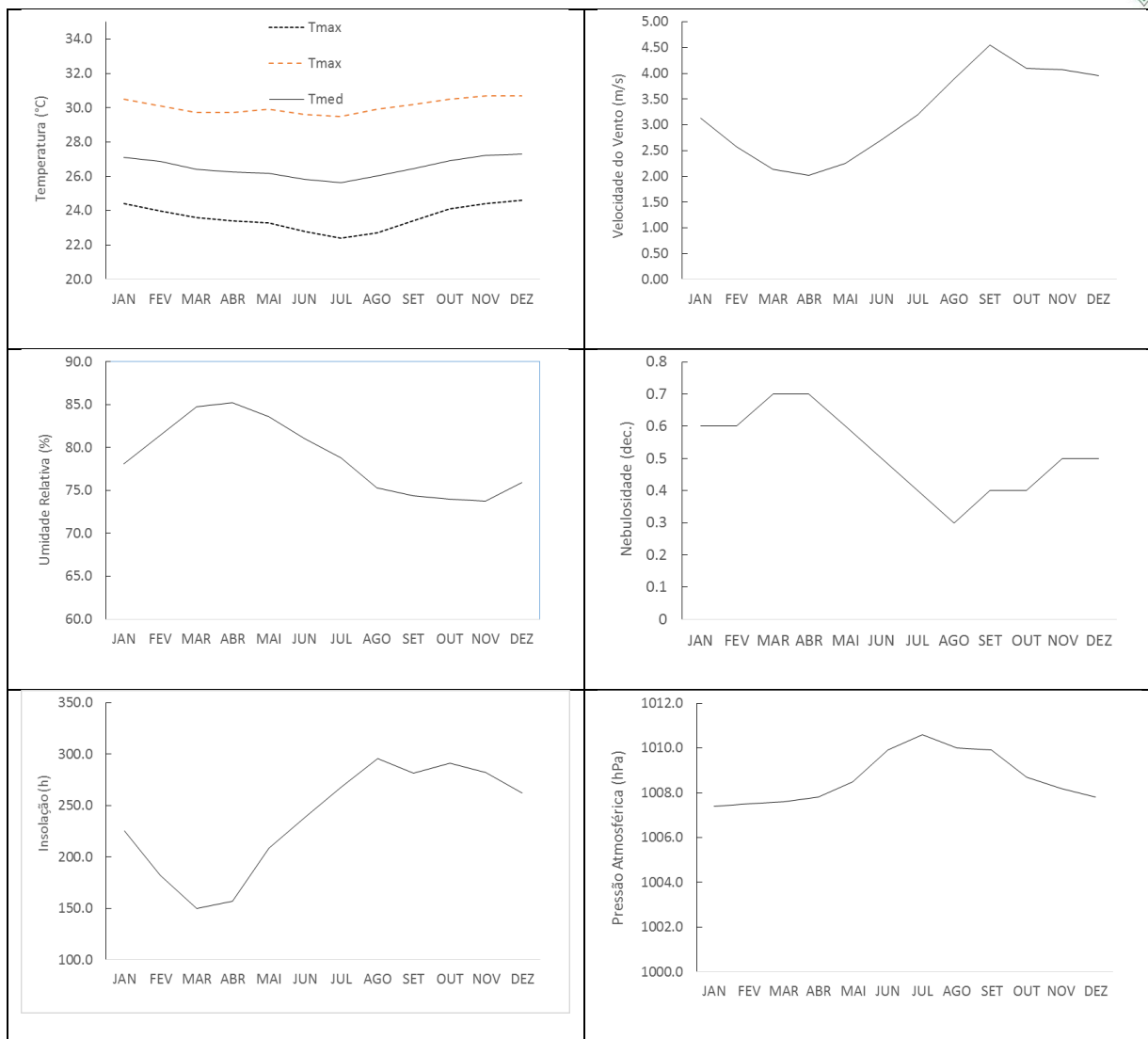


Figura 4 – Principais parâmetros condicionantes da climatologia sinótica

2.2.2 Evaporação

A evaporação esperada numa superfície inundada (EVP, evaporação livre) e a evaporação potencial média na superfície da bacia hidrográfica (ETP, ET0) foram calculadas a partir dos dados mostrados acima. Foram utilizados os modelos conceituais de Penman (1948)² e Monteith (1965)³, com simplificações e padronizações recomendadas pela FAO. Os resultados obtidos foram comparados com dados publicados da estação climatológica de Pentecostes (EMBRAPA), sendo considerados, plenamente compatíveis com a realidade da região.

Tabela 3 – Evaporação potencial sobre a bacia hidrográfica

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
ET0 FAO	151.7	126.7	118.9	111.1	120.3	123.4	139.1	163.8	172.4	180.7	174.8	168.0	1750.8
Evap. Livre	208.2	173.3	160.8	150.1	163.5	169.5	193.5	231.5	248.0	255.8	246.0	235.5	2435.7

2.2.3 Resumo da climatologia e balanço hídrico

Tabela 4 - Resumo da climatologia

Pluviometria média anual (Bacia hidrográfica do Açude Itapebussu)	1205,8 mm
Evaporação potencial de referência (Penman-Monteith, FAO ET0, albedo 0.25)	1750.8 mm
Evaporação livre análoga ao tanque classe A (Penman, modelo clássico, albedo 0.05)	2435.8 mm
Insolação média anual	2694,3 h
Umidade relativa média anual	78,8 %
Temperatura média anual (média das máximas)	30.1°C
Temperatura média anual (média das medias)	26,5°C
Temperatura média anual (média das mínimas)	23,6°C
Classificação climática segundo Thornthwaite	CISA'a'

² PENMAN, H.L. *Natural evaporation for open water, bare soil and grass*. Proc. Soc. London Ser. A193:120-145, 1948.

³ MONTEITH, J.L. *Evaporation and environment*. Symp. Soc. Exp. Biol. 19: 205-234. 1965.

2.2.4 Balanço hídrico

Tabela 5 – Balanço hídrico climatológico segundo Thornthwaite & Matter

Mês	P*	ETP**	P-ETP	Neg	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	Mm
Jan	121.5	151.7	-30.2	-920.0	0.0	0.0	121.5	30.2	0.0
Fev	160.2	126.7	33.4	-109.5	33.4	33.4	126.7	0.0	0.0
Mar	251.6	118.9	132.7	0.0	100.0	66.6	118.9	0.0	132.7
Abr	268.1	111.1	157.1	0.0	100.0	0.0	111.1	0.0	157.1
Mai	172.1	120.3	51.8	0.0	100.0	0.0	120.3	0.0	51.8
Jun	90.2	123.4	-33.3	-33.3	71.7	-28.3	118.5	5.0	0.0
Jul	54.1	139.1	-85.0	-118.3	30.6	-41.1	95.2	44.0	0.0
Ago	14.5	163.8	-149.3	-267.5	6.9	-23.8	38.3	125.5	0.0
Set	11.5	172.4	-160.9	-428.4	1.4	-5.5	17.0	155.3	0.0
Out	11.0	180.7	-169.7	-598.1	0.3	-1.1	12.1	168.6	0.0
Nov	13.8	174.8	-161.0	-759.0	0.1	-0.2	14.0	160.8	0.0
Dez	37.2	168.0	-130.8	-889.8	0.0	0.0	37.2	130.7	0.0
ANO	1205.8	1750.8	-544.98		444.4	0.01	930.8	820.1	341.6

(*) Precipitação média no local da bacia hidrográfica

(**) ETo calculada com a fórmula de Penman-Monteith (FAO)

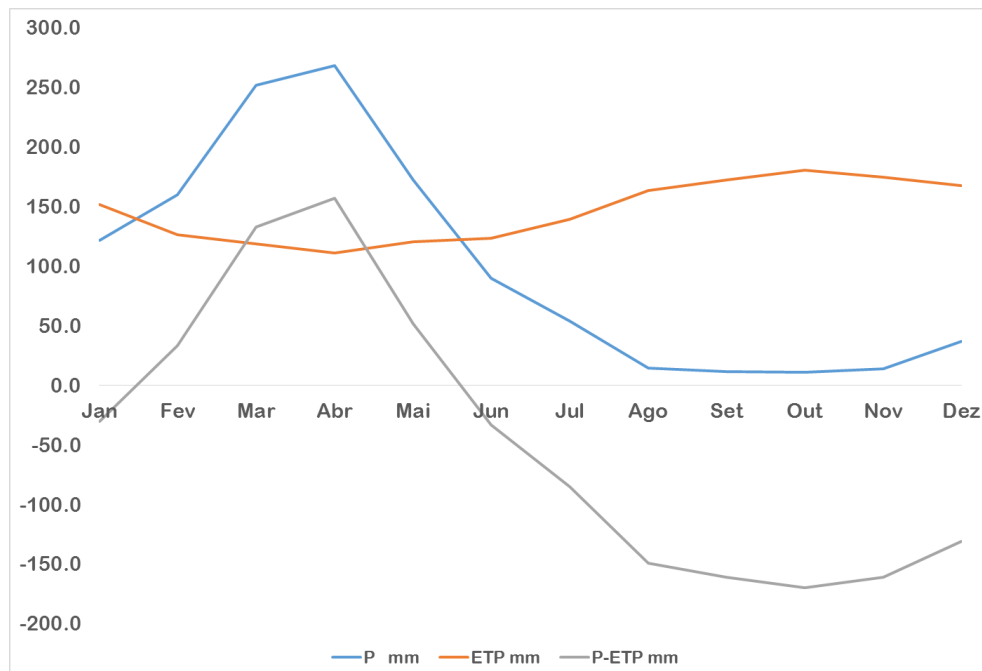


Figura 5 – Gráfico do balanço hídrico climatológico



PLUVIOMETRIA

.....

3 Pluviometria

3.1 Considerações iniciais

Foram obtidos dados pluviométricos diários da ANA e consistidos para análises posteriores nos estudos de chuvas intensas e de cheias, bem como nas simulações dos estudos de deflúvios. As principais determinações foram:

- Estatísticas das séries mensais e anuais;
- Determinação dos hietogramas mensais típicos;
- Análise da concentração de chuva no mês, trimestre e semestre mais chuvosos;
- Análise da pluviometria diária máxima anual e ajuste de distribuições de frequência para suprir os dados sobre a chuva de projeto;
- Pluviometria média mensal;

3.2 Dados brutos e estações analisadas

A Tabela 6 mostra todas as estações cujos dados brutos foram interpretados e consistidos especificamente para este estudo. O objetivo desta etapa é conhecer o comportamento da pluviometria local e gerar informações suficientes para o estudo de deflúvios. Por outro lado, estas informações estabelecem as bases para o estudos de chuvas intensas (curva IDF: Intensidade-Duração-Frequência), os quais produzirão os hietogramas de projeto.

Tabela 6 – Estações pluviométricas analisadas

Código	Nome	Código Adicional	Município	Operadora	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período
438031	Itapebussu	199	Maranguape	FUNCEME	-4°1'	-38°56'	230	1962-2014
438047	Tanques	2882146	Maranguape	SUDENE	-4°5'	-38°47'	100	1964-2001
438077	Tanques	289	Maranguape	FUNCEME	-4°5'	-38°47'	100	2001-2014
438114	Palmácia	108	Palmácia	FUNCEME	-4°9'	-38°50'	380	1979-2014
438038	Sítio Bica	545	Palmácia	FUNCEME	-4°9'	-38°51'	380	1962-2008
438027	Gado	2882321	Palmácia	SUDENE	-4°9'	-38°54'	390	1963-2000

3.3 Regime médio mensal

Das estações analisadas, foram selecionados criteriosamente as que representavam o comportamento das precipitações sobre a bacia hidrográfica estudada. Dois grupos distintos foram identificados pelos padrões das séries diárias e mensais observadas. O primeiro grupo é composto pelas estações de Itapebussu e Tanques, cuja distribuição e quantidade precipitada representam principalmente o baixo curso d'água chegando no Açude Itapebussu.

Tabela 7 – Pluviometria observada por estação (mm)

Estação	Cod	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
Itapebussu	438031	93.6	139.4	215.9	216.8	130.5	61.4	39.7	5.8	6.8	3.4	5.2	26.4	944.8
Tanques	438047	102.7	134.0	214.3	220.0	128.2	87.9	35.7	11.9	10.8	10.2	12.9	30.9	999.4
Palmácia	438114	145.4	175.3	270.9	295.8	189.6	103.3	54.9	18.1	12.8	11.8	16.7	36.7	1331.3

Sítio Bica	438038	131.6	177.7	287.4	298.5	191.9	108.8	56.7	17.3	16.1	15.4	17.0	45.5	1363.9
Gado	438027	103.0	151.5	256.0	280.0	165.8	101.2	65.0	20.8	18.9	14.7	14.7	46.7	1238.3

O segundo grupo, Palmácia/Sítio Bica, descreve o comportamento do alto vale, e tem um padrão de distribuição temporal similar, mas os valores médios mensais são sistematicamente superiores devido ao efeito orográfico.

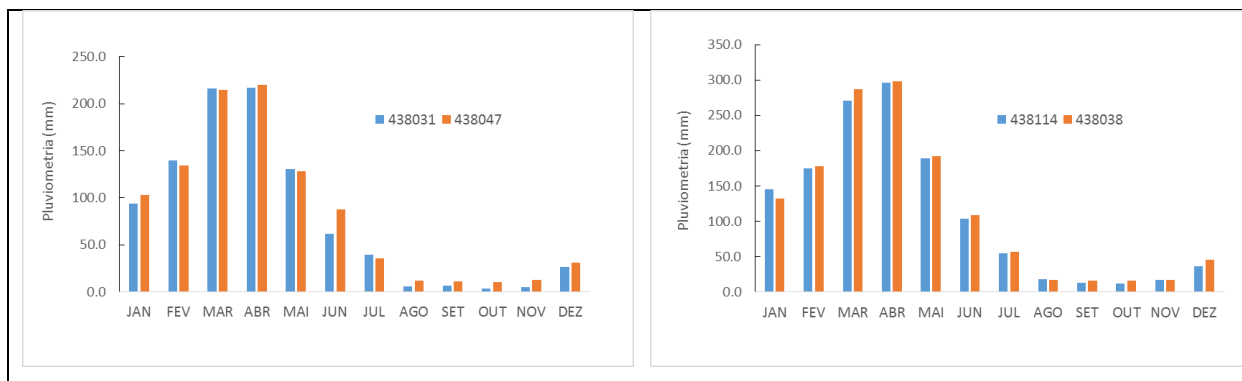


Figura 6 - Grupos de estações – Itapebussu/Tanques e Palmácia/Sítio Bica

O resumo dos índices nos três níveis (mensal, trimestral e semestral) ilustra bem a sazonalidade típica da pluviometria em todas as regiões do Ceará. No caso específico das nossas estações a concentração mensal gira em torno de 22%, semestral em torno de 58%, e semestral 88%.

Tabela 8 – Índice de concentração das chuvas mensais

CÓDIGO	MÊS		TRIMESTRE		SEMESTRE				
	MÊS	mm	%	TRI	mm	%	S	mm	%
438031	ABR	216.8	22.9	MAM	572.1	60.5	I	857.6	90.8
438047	ABR	220.0	22.0	MAM	562.5	56.3	I	887.2	88.8
438114	ABR	295.8	22.2	MAM	756.3	56.8	I	1180.3	88.7
438038	ABR	298.5	21.9	MAM	777.8	57.0	I	1195.9	87.7
438027	ABR	280.0	22.6	MAM	701.8	56.7	I	1057.5	85.4

3.4 Chuvas intensas

A distribuição Pearson III ajustou-se muito bem aos dados de chuva máxima diária dos postos selecionados (Figura 7; Figura 8). A aplicação dessa distribuição aos dados do referido posto resultou nas chuvas máximas diárias, para períodos de retorno entre 1000 e 10000 anos. Após a obtenção das chuvas máximas diárias por estação, determinou-se a chuva máxima diária média na bacia hidrográfica através da ponderação pelo polígono de Thiessen. O valor da chuva intensa com duração de 24h decorre da multiplicação da chuva diária máxima pelo fator 1.1. Determinadas as chuvas intensas de 24h, segundo a metodologia de TABORGA-TORRICO, desagregou-as em chuvas intensas de 1h, através da expressão:

$$P_{1h} = K \times P_{24h}$$

Em que:

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 uma curva mono-logarítmica, onde na ordenada são colocadas as chuvas intensas e na abcissa as durações. Colocando as chuvas intensas de 1h e de 24h, traçou-se retas unindo essas chuvas intensas, as quais permitiram a obtenção de chuvas intensas de outras durações.

Os resultados obtidos neste estudo constam da Tabela 9 e da Tabela 10.

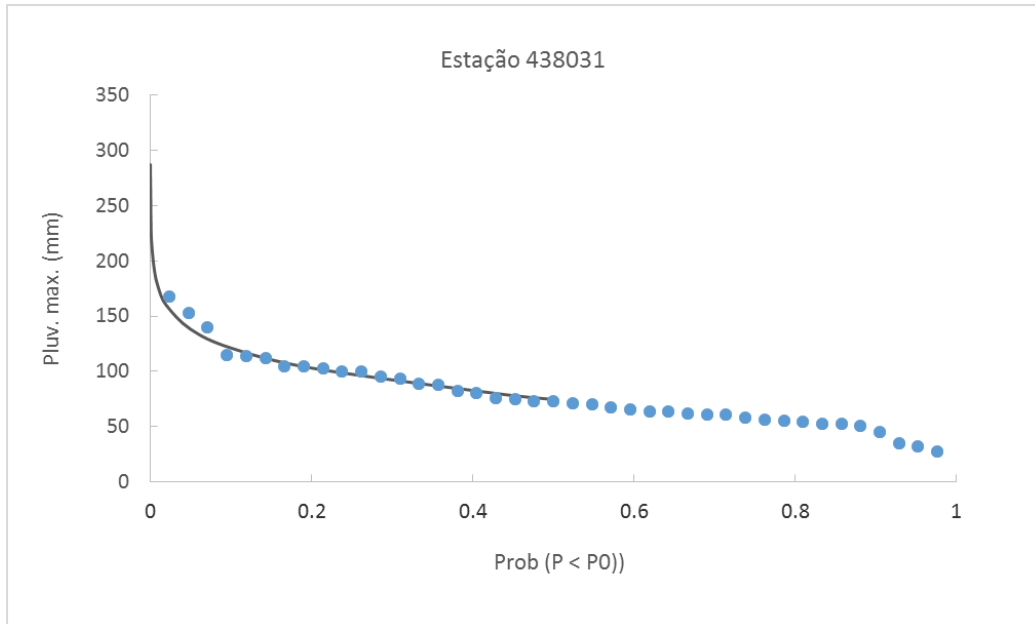


Figura 7 - Análise de frequência – nível diário (Pearson III), Itapebussu, n=41

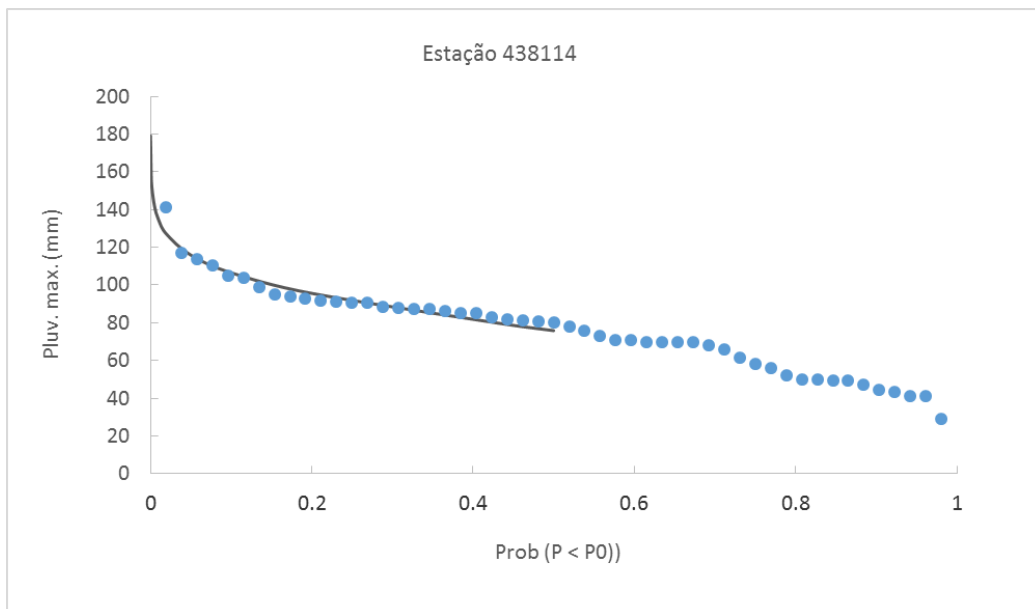


Figura 8 - Análise de frequência – nível diário (Pearson III), Palmácia, n=51

Tabela 9 – Análise de frequência a nível diário [mm] (máximos anuais, distribuição Pearson III)

Estação	N	Tr (anos): 10	50	100	1000	10000
Itapebussu	41	121,2	138,2	159,8	229,9	286,9
Palmácia	51	106,6	127,0	134,7	157,8	179,1

Tabela 10 – Chuvas intensas (mm) - valores para determinação das curvas altura-duração-frequência

DURAÇÃO (h)	Tempo de Retorno (anos)				
	10	50	100	1000	10000
0.1	11.8	14.7	14.9	18.4	19.8
1	49.0	59.5	65.2	75.9	87.7
24	123.4	153.5	165.5	203.9	242.4
DIÁRIA	112.2	139.5	150.4	185.4	220.4

3.5 Série pluviométrica mensal

Os estudos permitiram, após preenchimento de falhas com dados correlacionados de estações em cada grupo, produzir uma série contínua de pluviometria média mensal desde 1962 até 2014. A ponderação do coeficiente de Thiessen atribuiu 61.7% da área para Palmácia e o restante (38.3%) para Itapebussu. A Tabela 11 mostra os valores obtidos e suas estatísticas.

Tabela 11 – Série de pluviometria média sobre a bacia hidrográfica do Açude Itapebussu (mm)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1962	106.0	148.5	347.3	264.9	143.1	83.9	38.2	18.7	22.4	10.4	38.0	44.8	1266.2
1963	175.0	131.6	397.1	201.2	89.4	32.7	2.0	8.0	0.6	1.7	48.7	157.6	1245.7
1964	279.7	342.6	270.7	444.9	261.9	66.7	71.5	30.6	54.5	10.6	3.1	16.7	1853.4
1965	90.0	46.0	145.1	300.8	169.1	168.7	69.9	4.4	15.1	19.9	0.0	15.3	1044.2
1966	12.4	147.5	135.1	249.7	111.4	76.0	54.0	22.9	16.2	6.1	14.5	33.6	879.4
1967	27.4	385.7	234.2	417.2	244.1	53.8	32.3	11.3	4.2	3.7	0.2	13.0	1427.2
1968	57.8	113.3	330.5	207.2	258.4	43.4	59.9	0.8	0.0	7.8	4.9	58.3	1142.4
1969	51.4	77.4	339.2	394.1	145.2	126.0	189.6	29.7	3.3	9.6	2.1	21.1	1388.6
1970	187.5	55.4	190.0	318.2	93.6	53.1	27.7	12.4	5.5	6.1	43.3	23.0	1015.8
1971	116.7	100.0	241.0	182.7	239.5	107.5	136.9	13.5	8.1	44.2	13.8	31.1	1235.1
1972	44.2	63.1	143.2	130.1	140.0	99.8	80.1	19.6	3.3	5.7	2.6	48.5	780.3
1973	84.1	228.9	285.6	312.9	196.5	170.1	76.9	11.1	26.9	3.3	12.8	30.5	1439.8
1974	313.8	214.4	342.8	574.9	414.7	91.8	30.1	12.3	38.4	16.8	6.4	100.1	2156.7
1975	87.9	168.1	343.7	247.1	250.4	136.6	94.2	26.8	23.9	15.5	13.7	123.7	1531.7
1976	56.4	239.0	252.2	233.8	64.6	37.0	2.8	6.7	7.2	45.2	30.4	4.9	980.3



1977	155.1	202.6	384.2	249.7	163.8	224.2	89.3	17.3	3.7	11.4	6.5	25.0	1532.7
1978	34.0	240.7	213.9	274.7	283.0	44.7	51.9	11.2	10.7	47.9	17.0	52.8	1282.6
1979	110.3	130.4	145.5	202.5	131.9	58.9	11.1	18.7	53.7	3.5	17.8	2.6	886.7
1980	129.0	389.4	218.9	78.4	72.8	58.4	7.2	3.7	27.4	22.0	7.6	28.7	1043.4
1981	39.6	61.8	438.7	170.8	114.2	23.5	0.1	0.0	0.0	2.5	9.2	68.4	928.7
1982	119.0	118.7	279.1	151.8	175.7	41.9	44.9	24.5	8.6	7.0	23.1	23.5	1017.9
1983	6.7	157.1	126.9	100.5	63.3	16.3	4.9	6.3	9.3	9.3	1.2	7.0	508.7
1984	56.6	201.0	277.6	269.4	279.3	141.3	97.3	33.6	57.6	49.1	7.4	37.0	1507.2
1985	238.9	343.1	386.0	330.6	218.9	205.0	147.3	30.2	13.5	0.0	3.7	134.5	2051.8
1986	69.7	301.4	523.4	380.9	182.7	149.8	37.2	32.9	11.6	19.7	67.5	79.5	1856.4
1987	69.8	102.6	280.1	174.4	54.7	224.4	27.1	5.7	7.0	3.5	29.4	14.1	993.0
1988	186.9	93.1	223.9	386.0	277.8	117.3	55.5	6.3	13.4	6.3	24.2	68.1	1458.9
1989	150.2	106.6	177.3	419.9	262.6	165.6	124.1	11.9	20.6	9.9	17.2	125.6	1591.5
1990	21.5	58.8	99.1	245.2	109.5	54.6	77.7	18.8	25.3	0.0	10.7	16.5	737.7
1991	88.7	140.5	375.0	230.8	221.8	67.5	22.6	7.2	3.6	22.9	4.5	3.3	1188.4
1992	104.3	243.8	192.1	147.0	69.6	87.0	15.0	15.7	0.0	19.3	15.4	0.0	909.1
1993	34.8	9.9	124.2	82.7	55.6	27.9	67.5	25.0	7.0	18.9	9.0	24.6	487.2
1994	111.1	197.9	217.8	331.5	344.0	151.1	41.7	3.6	6.6	4.7	22.6	107.8	1540.5
1995	162.7	229.1	181.6	446.9	254.5	70.0	87.4	0.0	0.9	5.6	26.7	8.0	1473.4
1996	170.2	141.6	393.9	396.1	123.8	15.2	0.0	13.4	7.9	18.8	29.1	20.2	1330.1
1997	74.3	87.3	73.8	221.7	125.9	0.0	8.8	3.5	0.0	3.2	9.8	42.7	651.0
1998	209.3	58.4	135.2	164.5	54.3	19.7	18.2	29.1	4.5	9.6	7.5	35.6	745.8
1999	78.5	133.8	292.3	211.1	226.6	70.6	31.7	0.2	14.9	0.0	8.8	42.1	1110.7
2000	271.8	149.1	295.0	331.9	162.1	90.4	160.1	95.3	39.4	0.0	7.0	20.2	1622.4
2001	131.5	122.4	222.4	477.3	75.9	144.4	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	1198.5
2002	288.3	87.0	295.6	348.0	221.0	102.7	67.2	4.7	4.3	1.7	18.1	18.8	1457.4
2003	150.7	212.6	334.7	298.1	193.4	128.5	20.6	20.4	1.2	0.0	9.9	47.8	1417.9
2004	508.4	332.8	246.1	116.4	42.5	134.3	84.4	11.0	5.4	2.6	0.0	4.3	1488.2
2005	15.2	66.7	120.7	273.9	311.8	120.4	27.8	0.0	6.5	3.1	1.1	13.6	960.9
2006	23.2	126.8	226.5	292.0	248.7	96.8	19.3	16.1	8.0	0.0	9.0	16.3	1082.8
2007	78.5	179.8	258.2	279.0	94.7	105.1	27.8	13.0	0.6	1.4	5.7	70.9	1114.7
2008	120.4	64.0	261.8	322.1	132.4	75.4	29.4	31.8	2.1	0.0	1.2	7.7	1048.4
2009	117.5	224.1	368.0	375.2	425.1	146.8	140.1	16.7	1.2	0.0	0.0	5.3	1820.0
2010	99.8	45.6	106.9	211.2	48.2	23.5	29.6	0.0	0.0	2.5	5.9	22.9	596.2
2011	287.1	251.4	252.8	269.0	179.7	80.9	133.3	8.2	3.7	63.8	43.8	6.8	1580.5
2012	47.4	250.8	201.5	168.1	36.5	43.3	0.0	0.0	0.0	3.7	6.8	6.2	764.2
2013	56.6	121.3	125.0	168.7	148.6	87.8	73.1	4.4	0.0	0.0	10.8	17.5	813.7
2014	130.2	43.7	263.9	133.7	113.3	16.3	10.9	0.0	0.0	0.9	2.6	7.7	723.3
Média	121.5	160.2	251.6	268.1	172.1	90.2	54.1	14.5	11.5	11.0	13.8	37.2	1205.8



Desvio													
Padrão	94.7	93.5	98.0	108.6	94.0	55.2	46.5	15.2	14.5	14.5	14.2	37.5	387.2
CV	0.78	0.58	0.39	0.41	0.55	0.61	0.86	1.05	1.26	1.32	1.03	1.01	0.32



REGIME DE VAZÕES

.....

4 Regime de Vazões

4.1 Introdução

O presente capítulo caracteriza os deflúvios naturais esperados na bacia hidrográfica que drena ao Açude Itapebussu. A abordagem escolhida utilizou-se das análises até agora realizadas. Especificamente, as informações correspondentes à série de pluviometria média entre os anos de 1962 e 2014 e à estimativa dos valores mensais de evaporação potencial na região onde se encontra a bacia hidrográfica estudada. É interessante notar que é insuficiente para nossos objetivos obter somente o deflúvio médio, visto que o semiárido apresenta um regime com alta variabilidade interanual. Para obtermos uma série de deflúvios de longo período com uma amplitude e variabilidade representativas, optou-se por utilizar um método de transformação chuva-vazão com parâmetros regionalizados.

4.2 Modelo Chuva-Vazão

4.2.1 Concepção do Modelo

O modelo chuva-vazão SMAP (Lopes et al., 1981) tem uma estrutura relativamente simples, cujos parâmetros são relacionados com parâmetros físicos da bacia. Neste modelo, o número de parâmetros que depende de calibração são reduzidos ao máximo, o que permite a determinação dos valores ótimos globais com maior facilidade permitindo a regionalização dos mesmos.

O SMAP utiliza como dados de entrada a precipitação mensal (P) em mm; a evapotranspiração potencial (EP) mensal em mm; a área da bacia hidrográfica em km²; a taxa de deplecionamento (K), que gera o escoamento de base variando de 1 a 6; e a taxa de umidade do solo inicial (TU_{in}). Já os parâmetros do modelo a serem calibrados são:

- P-ES -- resultado da precipitação subtraída da parcela transferida ao escoamento superficial, variando entre 400 e 5000;
- SAT -- capacidade de saturação do solo, variando entre 0,1 e 10;
- CREC -- coeficiente de recarga, parâmetro relacionado com a permeabilidade na zona não saturada do solo, variando de 0 a 70.

4.2.2 Regionalização dos Parâmetros do SMAP

Alexandre et al. (2005)⁴ utilizou três métodos diferentes para montar um modelo regional para os parâmetros do modelo chuva-vazão SMAP mensal (**SMAPm**): valor médio de séries de vazões calibradas, "regression trees" e regressões lineares múltiplas. Foram utilizadas 22 estações fluviométricas do estado do Ceará cobrindo aproximadamente 50% da área do estado, além de as séries possuírem no mínimo 10 anos de dados.

Considerando que o estado do Ceará está localizado no semi-árido, foram considerados apenas dois parâmetros do modelo chuva-vazão SMAP para a regionalização: o do escoamento superficial (P-ES) e da capacidade de saturação do solo (SAT).

⁴ ALEXANDRE, ALAN MICHELL B.; MARTINS; EDUARDO SÁVIO; CLARKE, ROBIN T. & DIRCEU S. REIS JR. *Regionalização de Parâmetros de Modelos Hidrológicos*; ABRH, 2005.

A equação a seguir expressa o parâmetro P-ES como função das características fisiográficas/climáticas:

$$E[P-ES] = -0,888 + 0,0034P + 0,041 \cdot CAD$$

Em que:

P - precipitação média em mm; e

CAD - capacidade de armazenamento do solo em mm.

Para o parâmetro SAT, a estimativa regional é dada pela equação 7:

$$E[SAT] = 3213,4 - 22,9 \cdot Cr$$

Em que Cr é a parcela da bacia situada no cristalino.

A faixa recomendada de aplicação das equações acima se restringe à variação dos dados originais utilizados na identificação dos modelos empíricos: P entre 259 e 1305 mm, CAD entre 45 e 115 mm e Cr entre 0 e 100%.

4.3 Resultados da simulação

Para o cálculo de uma série de longo termo de deflúvios sobre a porção da bacia do Rio São Gonçalo controlada pelo Açude Itapebussu, foi empregado o modelo chuva-deflúvio SMAPm. Este modelo foi escolhido por se tratar de um modelo estruturalmente simples, parcimonioso em termos de dados de entrada e quantidade de parâmetros. Os dados de entrada correspondentes a evaporação foram obtidas do estudo da climatologia local. Os valores dos parâmetros identificados e utilizados na simulação são os seguintes: 100 para o parâmetro CAD, 823.4 para SAT e 7.405 para P-ES. Os principais resultados da simulação chuva-vazão podem ser apreciados na Tabela 12 e na Tabela 13, onde são detalhadas as estatísticas relevantes do deflúvio afluente à nossa seção de controle (Açude Itapebussu).

Tabela 12 – Série de deflúvios calculados (mm) com o modelo SMAPm

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1962	0.0	0.1	6.7	64.6	46.8	20.2	5.1	0.9	0.3	0.0	0.0	0.0	144.7
1963	0.4	1.3	58.1	85.8	29.6	5.8	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	181.4
1964	4.8	75.3	140.2	394.2	106.2	18.3	11.6	2.2	1.5	0.1	0.0	0.0	754.4
1965	0.0	0.0	0.4	11.0	30.7	42.2	13.6	0.3	0.3	0.1	0.0	0.0	98.6
1966	0.0	0.1	0.4	7.0	10.2	6.4	3.1	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	27.7
1967	0.0	2.1	31.3	295.5	94.5	13.9	4.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	441.8
1968	0.0	0.0	4.2	28.6	97.5	10.7	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	148.8
1969	0.0	0.0	4.2	145.2	53.2	38.1	61.2	5.1	0.1	0.1	0.0	0.0	307.3
1970	0.4	0.3	3.0	48.9	24.4	8.5	2.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	88.0
1971	0.1	0.2	3.4	15.2	62.2	28.2	31.9	1.5	0.2	0.4	0.0	0.0	143.3
1972	0.0	0.0	0.4	1.3	4.0	4.6	3.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	14.4
1973	0.0	0.7	17.1	126.1	84.9	67.0	20.8	1.2	0.8	0.0	0.0	0.0	318.6
1974	2.3	17.0	148.3	729.5	49.1	25.6	4.5	0.6	0.6	0.1	0.0	0.1	977.6
1975	0.2	1.1	34.0	102.9	129.8	52.7	25.7	3.2	0.9	0.1	0.0	0.3	350.8
1976	0.2	3.3	31.7	82.4	17.9	5.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	141.2
1977	0.1	1.3	56.2	121.8	69.8	101.9	27.9	2.2	0.1	0.1	0.0	0.0	381.3
1978	0.0	0.6	7.7	58.5	145.9	12.5	7.2	0.6	0.1	0.2	0.0	0.0	233.4
1979	0.1	0.6	2.3	12.8	18.4	6.7	0.6	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	42.3
1980	0.0	7.0	48.8	17.7	11.9	6.1	0.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	92.1
1981	0.0	0.0	5.9	31.7	25.2	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.8
1982	0.0	0.2	6.2	16.7	35.8	6.6	3.6	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	69.9
1983	0.0	0.1	0.4	0.8	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9
1984	0.0	0.0	3.0	37.8	128.4	50.4	25.5	4.0	2.6	1.0	0.0	0.1	252.9
1985	2.0	44.7	274.7	197.6	102.0	92.0	54.4	5.4	0.7	0.0	0.0	0.4	774.0
1986	0.3	8.3	414.4	163.1	73.3	53.2	7.9	2.6	0.3	0.1	0.2	0.2	723.8
1987	0.2	0.4	10.1	28.7	8.7	49.3	4.5	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	102.4
1988	0.2	0.4	5.3	121.4	154.0	42.8	12.2	0.5	0.2	0.0	0.0	0.1	337.3
1989	0.4	0.7	4.4	133.9	140.6	69.1	40.5	1.7	0.8	0.1	0.0	0.4	392.6
1990	0.1	0.1	0.3	5.2	8.2	3.4	3.6	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	21.5
1991	0.0	0.1	13.6	69.5	97.5	19.7	3.1	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	204.0
1992	0.0	0.9	7.8	15.5	8.0	7.8	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	41.0
1993	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
1994	0.0	0.2	3.4	62.2	222.3	54.2	9.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	352.0
1995	0.7	6.8	22.7	323.4	90.5	18.5	14.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	477.6
1996	0.1	0.8	42.2	298.2	33.8	2.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	377.6
1997	0.0	0.0	0.1	1.6	4.6	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4
1998	0.1	0.1	0.6	3.2	1.7	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2
1999	0.0	0.0	3.3	23.6	69.1	17.2	3.9	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	117.3
2000	0.8	3.5	43.4	190.2	62.9	25.6	41.5	17.4	3.1	0.0	0.0	0.0	388.5
2001	0.2	0.7	7.3	264.5	15.7	27.9	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	317.5



2002	0.4	1.0	20.1	173.6	100.2	34.0	13.8	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	343.6
2003	0.1	1.8	45.0	157.2	86.4	45.7	4.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	341.5
2004	14.0	163.8	122.1	43.9	10.2	24.8	13.1	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	392.7
2005	0.0	0.0	0.0	2.4	51.3	32.0	4.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	90.1
2006	0.0	0.0	1.0	21.9	86.8	27.7	2.8	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	141.0
2007	0.0	0.3	6.5	59.5	25.5	21.6	3.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	117.2
2008	0.1	0.1	3.5	63.0	42.7	17.1	3.4	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	131.3
2009	0.0	0.8	39.7	258.1	348.0	35.4	34.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	718.1
2010	0.0	0.0	0.1	2.0	1.1	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8
2011	0.1	5.5	43.0	120.1	76.5	24.1	31.3	0.9	0.1	0.6	0.2	0.0	302.4
2012	0.0	1.4	11.4	25.4	5.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.1
2013	0.0	0.0	0.1	1.2	4.4	4.0	3.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8
2014	0.0	0.0	1.4	5.0	7.4	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.7
Média	0.5	6.7	33.2	99.5	60.7	24.3	10.8	1.2	0.3	0.1	0.0	0.0	237.2
Desvio Padrão	2.0	25.1	71.9	131.3	63.8	23.7	14.6	2.6	0.6	0.2	0.0	0.1	229.4
CV	3.8	3.8	2.2	1.3	1.1	1.0	1.4	2.2	2.2	2.5	2.2	2.3	0.97

Tabela 13 – Série de vazões afluentes (m^3/s) calculadas com o modelo SMAPm

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1962	0.000	0.002	0.188	1.887	1.323	0.589	0.143	0.025	0.009	0.001	0.001	0.001	0.347
1963	0.011	0.039	1.641	2.506	0.836	0.169	0.004	0.004	0.000	0.000	0.001	0.005	0.435
1964	0.135	2.275	3.964	11.514	3.001	0.534	0.328	0.061	0.043	0.003	0.000	0.000	1.822
1965	0.001	0.001	0.010	0.322	0.867	1.233	0.383	0.009	0.008	0.003	0.000	0.000	0.236
1966	0.000	0.002	0.012	0.203	0.288	0.186	0.087	0.015	0.003	0.000	0.000	0.000	0.066
1967	0.000	0.063	0.886	8.629	2.671	0.407	0.112	0.013	0.001	0.000	0.000	0.000	1.065
1968	0.000	0.001	0.118	0.834	2.755	0.313	0.220	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.354
1969	0.000	0.001	0.120	4.240	1.504	1.113	1.731	0.143	0.004	0.003	0.000	0.000	0.738
1970	0.011	0.009	0.084	1.429	0.690	0.248	0.061	0.009	0.001	0.000	0.001	0.000	0.212
1971	0.002	0.005	0.095	0.444	1.758	0.825	0.902	0.042	0.006	0.011	0.001	0.001	0.341
1972	0.001	0.001	0.010	0.038	0.114	0.133	0.103	0.012	0.001	0.000	0.000	0.000	0.034
1973	0.001	0.020	0.483	3.684	2.399	1.956	0.588	0.033	0.023	0.001	0.001	0.001	0.766
1974	0.064	0.514	4.191	21.306	1.387	0.749	0.126	0.017	0.017	0.002	0.000	0.003	2.365
1975	0.005	0.032	0.962	3.006	3.668	1.538	0.725	0.090	0.025	0.004	0.001	0.009	0.839
1976	0.005	0.101	0.896	2.407	0.507	0.154	0.004	0.003	0.001	0.002	0.001	0.000	0.340
1977	0.002	0.038	1.588	3.556	1.972	2.977	0.789	0.062	0.003	0.002	0.000	0.000	0.916
1978	0.000	0.018	0.218	1.709	4.124	0.364	0.204	0.016	0.004	0.006	0.001	0.001	0.555
1979	0.004	0.017	0.065	0.374	0.521	0.196	0.017	0.009	0.011	0.000	0.000	0.000	0.101
1980	0.001	0.212	1.379	0.517	0.337	0.177	0.010	0.001	0.003	0.001	0.000	0.000	0.220
1981	0.000	0.000	0.166	0.925	0.712	0.089	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.158
1982	0.001	0.006	0.174	0.487	1.012	0.192	0.102	0.022	0.002	0.000	0.000	0.000	0.167
1983	0.000	0.002	0.010	0.022	0.019	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005
1984	0.000	0.001	0.084	1.105	3.630	1.473	0.720	0.114	0.077	0.028	0.001	0.002	0.603
1985	0.057	1.351	7.765	5.771	2.883	2.688	1.537	0.154	0.020	0.000	0.000	0.010	1.853
1986	0.008	0.250	11.713	4.764	2.071	1.553	0.224	0.073	0.008	0.003	0.006	0.006	1.723
1987	0.006	0.013	0.286	0.837	0.246	1.441	0.128	0.008	0.002	0.000	0.001	0.000	0.247
1988	0.006	0.013	0.151	3.545	4.354	1.251	0.345	0.014	0.007	0.001	0.001	0.002	0.807
1989	0.010	0.022	0.123	3.912	3.974	2.018	1.145	0.048	0.023	0.003	0.001	0.010	0.941
1990	0.002	0.003	0.008	0.153	0.232	0.100	0.102	0.012	0.005	0.000	0.000	0.000	0.051
1991	0.000	0.004	0.385	2.031	2.755	0.576	0.088	0.009	0.001	0.002	0.000	0.000	0.488
1992	0.001	0.027	0.220	0.453	0.226	0.227	0.021	0.007	0.000	0.001	0.000	0.000	0.099
1993	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
1994	0.000	0.005	0.097	1.818	6.282	1.584	0.258	0.007	0.003	0.001	0.001	0.003	0.838
1995	0.021	0.205	0.643	9.444	2.557	0.539	0.422	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	1.153
1996	0.004	0.023	1.193	8.708	0.954	0.068	0.000	0.006	0.001	0.001	0.000	0.000	0.913
1997	0.000	0.001	0.002	0.048	0.129	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015
1998	0.002	0.003	0.017	0.093	0.049	0.010	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015
1999	0.000	0.001	0.094	0.690	1.954	0.501	0.111	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.280
2000	0.022	0.107	1.227	5.554	1.778	0.749	1.174	0.491	0.090	0.000	0.001	0.001	0.933
2001	0.007	0.021	0.207	7.725	0.445	0.814	0.031	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.771



2002	0.012	0.029	0.567	5.071	2.833	0.993	0.390	0.010	0.002	0.000	0.001	0.000	0.826
2003	0.003	0.053	1.271	4.592	2.442	1.335	0.113	0.036	0.001	0.000	0.000	0.000	0.820
2004	0.397	4.950	3.451	1.282	0.289	0.723	0.370	0.020	0.002	0.000	0.000	0.000	0.957
2005	0.000	0.000	0.001	0.070	1.450	0.935	0.120	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.215
2006	0.000	0.001	0.027	0.640	2.453	0.808	0.080	0.021	0.003	0.000	0.000	0.000	0.336
2007	0.000	0.008	0.183	1.737	0.721	0.632	0.093	0.014	0.000	0.000	0.000	0.001	0.282
2008	0.003	0.003	0.098	1.840	1.208	0.499	0.097	0.039	0.001	0.000	0.000	0.000	0.316
2009	0.001	0.023	1.123	7.538	9.837	1.035	0.960	0.055	0.001	0.000	0.000	0.000	1.714
2010	0.001	0.001	0.004	0.058	0.032	0.009	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009
2011	0.004	0.165	1.215	3.508	2.163	0.703	0.885	0.025	0.003	0.017	0.006	0.000	0.725
2012	0.001	0.041	0.322	0.742	0.140	0.087	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.111
2013	0.000	0.000	0.004	0.034	0.125	0.117	0.084	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.030
2014	0.001	0.001	0.039	0.145	0.208	0.021	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.035
Média	0.015	0.202	0.939	2.905	1.715	0.710	0.305	0.033	0.008	0.002	0.001	0.001	0.570
D.Pad	0.058	0.757	2.031	3.835	1.804	0.692	0.413	0.073	0.017	0.005	0.001	0.002	0.552
CV	3.75	3.76	2.16	1.32	1.05	0.97	1.36	2.21	2.17	2.53	2.25	2.33	0.97



REDIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

.....

5 Redimensionamento do Reservatório

5.1 Considerações iniciais

O redimensionamento da capacidade de regularização do açude Itapebussu foi realizada através da solução direta do balanço hídrico anual do reservatório, utilizando o modelo de simulação paramétrico baseado na teoria do diagrama triangular de regularização. As premissas utilizadas cumprem os requisitos e etapas para o estudo hidrológico de um açude interanual, segundo o CAMPOS (1990)⁵:

1. Estimar as estatísticas do regime do curso d'água afluente ao reservatório;
2. Elaborar um estudo incremental do tamanho do açude, analisando ganhos e perdas ao variar a capacidade projetada do reservatório;
3. Selecionar a capacidade do reservatório que melhor atende aos objetivos da barragem;

5.2 Metodologia

As curvas de regularização do reservatório foram obtidas pela solução direta da equação do balanço hídrico. A implementação computacional utilizada neste estudo é baseada no trabalho original de CAMPOS (1990), empregando o sistema REDERES 2.01, codificado por NILO DE CARVALHO JÚNIOR (1998, 2006)⁶.

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

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

sendo:

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

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

Em que:

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;

⁵ CAMPOS, J.N.B., 1990. *Regularização de Vazões em Rios Intermitentes*: Tese para Concurso de Professor Titular. UFC.

⁶ NILO DE CARVALHO JUNIOR, V. *Sistema Rederes V2.01 - Simulação de Rede de Reservatórios Para Avaliação da Influência da Pequena Açudagem Na Regularização de Vazões Em Bacias do Semi-Árido*. Software. 2006.

K = capacidade do reservatório;

St = volume perdido por sangria durante o ano t.

Parametrizando a geometria da bacia hidráulica por:

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

h - altura d'água

α - fator de forma (obtido por regressão entre z e h³)

Supondo um modelo mutuamente exclusivo, com volume contínuo e uma série de vazões afluentes com uma extensão de 2000 anos, seguindo uma distribuição Gama de 2 parâmetros, pode-se resolver a equação de balanço hídrico:

1. estabelece-se um valor inicial para a retirada M;
2. considera-se um volume inicial igual MIN(0,5.K; 0,5.μ);
3. Calcula-se
 - i. $ZU = Z_t + I_t$ p/ $Z_t + I_t - K$
 - ii. $ZU = K$ caso contrário
 - iii. $DS = \text{MAX}(Z_t + I_t - K; 0)$
2. onde ZU é o volume armazenado no final da estação e DS o volume sangrado no ano t;
3. Calcula-se o volume no fim da estação seca (início do próximo ano) por:

a) divide-se M e E em L partes;

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

ATUALIZAÇÃO DO VOLUME ARMAZENADO

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

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

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

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

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

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

5.3 Resultados

O dimensionamento hidrológico do reservatório tem o objetivo de fornecer as alternativas de capacidade útil associadas à uma garantia anual definida para a regularização de vazões (90%, no caso). Os resultados obtidos servem de base para uma análise dos custos prospectivos do empreendimento face aos seus benefícios esperados. Adiante são apresentados os valores básicos dos parâmetros adotados neste projeto, derivados da climatologia, do estudo do regime de vazões e da análise da geometria da bacia hidráulica do açude.

Dados de entrada do modelo

Área da bacia hidrográfica: 75,7 km²

Deflúvio médio = 237,2 mm

Vazão média = 0,57 m³/s

$\mu =$	17,976	hm ³ /ano
$\alpha =$	5226,9	
Evaporação na estação seca =	1128,3	mm
fE =	0,224	
Cv =	0,97	

$$f_E = 3 \times E \times \sqrt[3]{\frac{\alpha}{\mu}}$$

Note que a evaporação foi calculada como $0,8 \cdot \text{Evap_Livre}$ entre os meses de agosto e dezembro.

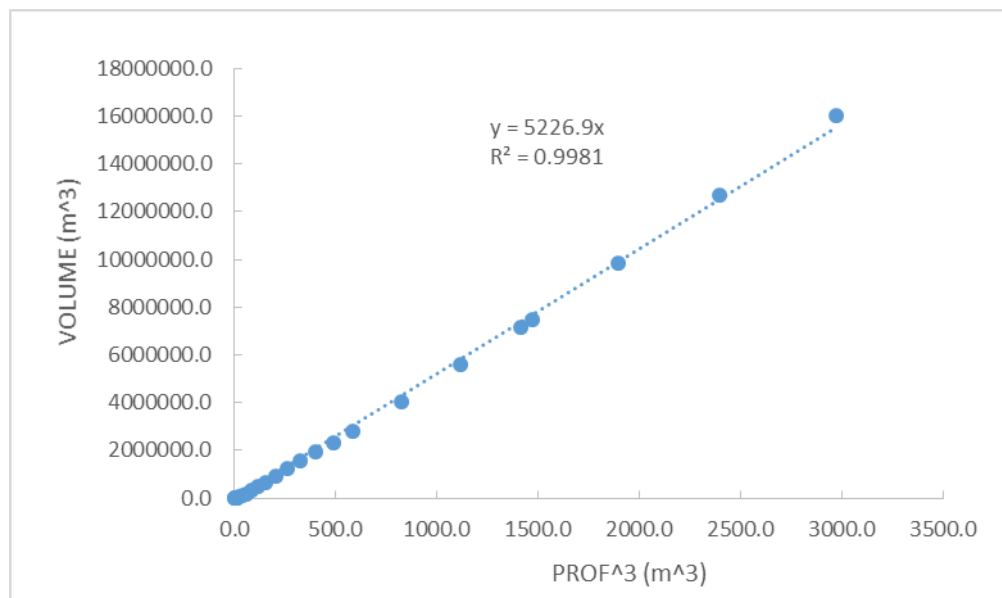


Figura 9 – Cálculo do parâmetro de forma da bacia hidráulica (α)

Valores calculados

A faixa de valores escolhida para análise da regularização para redimensionamento da nova capacidade útil do reservatório partiu de uma profundidade próxima da situação atual de projeto ($H_{max} = 11,23 \text{ m}$) até uma profundidade máxima de $14,38 \text{ m}$. Os valores obtidos em todas as simulação são listados na tabela a seguir. Como descrito na metodologia, a repartição dos volumes afluentes esperados para o reservatório entre evaporação, sangria e liberação permitem compreender sinteticamente o impacto do redimensionamento (aumento do volume útil) na nova realidade de operação na situação projetada.

Tabela 14 – Valores resultantes do estudo incremental de capacidades – barragem Itapebussu

Cota (m)	Prof. (m)	Evap (hm3/ano)	%Evap (%)	Sng (hm3/ano)	%Sng (%)	Lib (hm3/ano)	%Lib (%)	K (hm3)	fK	M (hm3/ano)	Q90 (m3/s)
115.85	11.23	1.379	7.7	13.924	77.5	2.673	14.9	7.176	0.40	2.770	0.088
116.00	11.38	1.420	7.9	13.786	76.7	2.770	15.4	7.467	0.42	2.870	0.091
116.35	11.73	1.559	8.7	13.372	74.4	3.045	16.9	8.436	0.47	3.153	0.100
117.00	12.38	1.729	9.6	12.828	71.4	3.419	19.0	9.836	0.55	3.538	0.112
117.25	12.63	1.814	10.1	12.522	69.7	3.640	20.3	10.531	0.59	3.766	0.119
117.50	12.88	1.887	10.5	12.265	68.2	3.823	21.3	11.168	0.62	3.959	0.126
117.75	13.13	1.963	10.9	12.003	66.8	4.010	22.3	11.831	0.66	4.155	0.132
118.00	13.38	2.051	11.4	11.702	65.1	4.223	23.5	12.688	0.71	4.379	0.139
118.25	13.63	2.110	11.7	11.458	63.7	4.408	24.5	13.235	0.74	4.579	0.145
118.50	13.88	2.182	12.1	11.174	62.2	4.620	25.7	13.977	0.78	4.802	0.152

118.75	14.13	2.258	12.6	10.893	60.6	4.825	26.8	14.746	0.82	5.023	0.159
119.00	14.38	2.396	13.3	10.392	57.8	5.188	28.9	16.040	0.89	5.410	0.172

Lib - VOLUME LIBERADO

Sng - VOLUME SANGRADO

Evp - VOLUME EVAPORADO

K = capacidade do reservatório

dM/dK = ganho de regularização com o aumento de capacidade do reservatório

Q90 = vazão regularizada com 90% de garantia

Conclusões

A eficiência hidrológica do reservatório é demonstrada pelos ganhos relativos de regularização à medida que se eleva a cota da soleira (Figura 10). A taxa de incremento de regularização com a capacidade não tem uma tendência claramente definida, embora alguns pontos acima da cota atual sejam máximos locais. Mesmo assim, há uma tendência geral média positiva de 0.3 hm³/ano/hm³ para dM/dK à medida que se aumenta a capacidade do açude (Figura 11), indicando que a eficiência do açude não será prejudicada caso se decida pela ampliação do seu volume útil.

A faixa de capacidade máxima K imediatamente acima da cota de sangria atual, entre 116.35 e 117.50m (profundidades no intervalo 11.73 – 12.88m) é viável em termos rendimento hidrológica. Os adicionais de regularização ao se elevar as cotas de sangria para 117,0 e 117,5 são, respectivamente, de 28% e 43% em relação ao fornecido pela situação atual. Enfatiza-se que este não é o único aspecto a ser considerado na decisão de aumentar a altura da barragem. Não há indícios da diminuição da eficiência hidrológica até atingirmos a profundidade de 13,63m (cota 118,25m). Mesmo assim, para precisar a cota final de sangria, os resultados desta etapa do estudo devem ser integrados às outras restrições do projeto, que incluem, dentre outras, a abrangência da superfície inundada e os custos totais das obras necessárias.

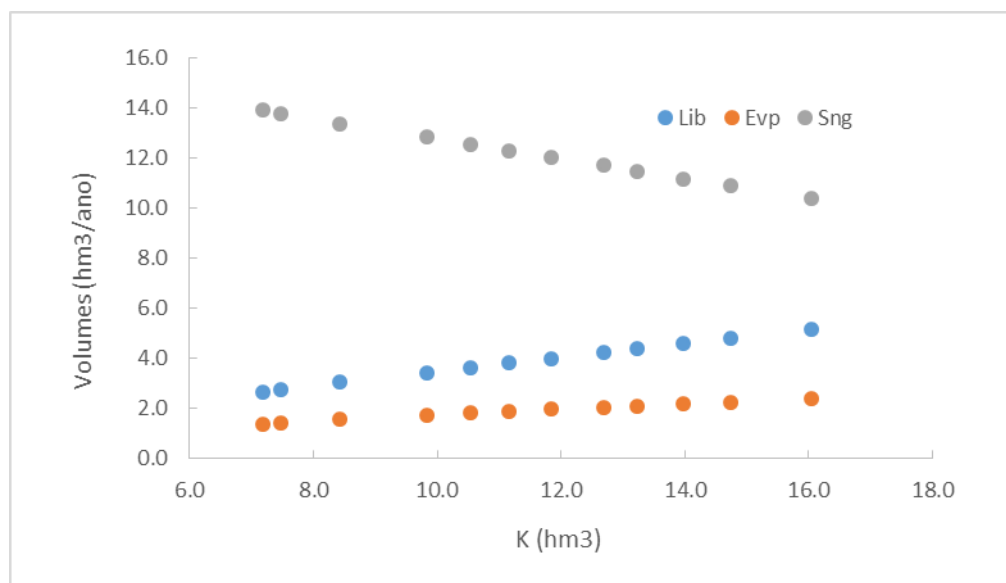


Figura 10 – Repartição dos Volumes afluentes versus capacidade máxima do açude Itapebussu

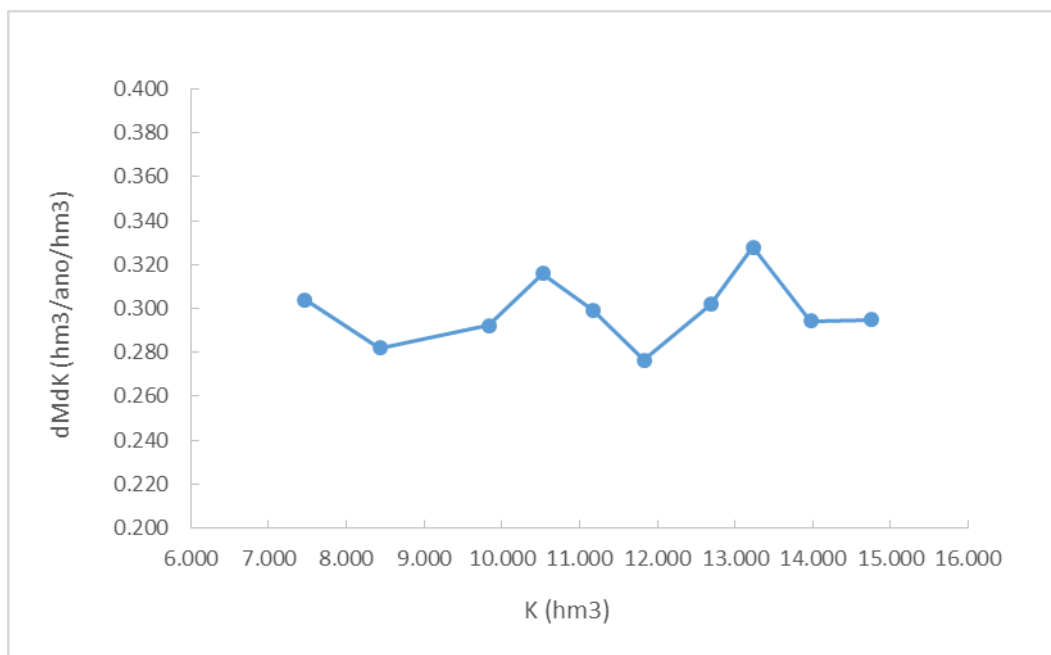


Figura 11 – Variação da liberação (M) como a capacidade útil máxima (K)



REDIMENSIONAMENTO DO VERTEDOURO

.....

6 Redimensionamento do Vertedouro

6.1 Considerações iniciais

A análise que segue trata dos cenários prováveis de cheias na bacia hidrográfica do Rio São Gonçalo na seção do Açude Itapebussu. Para análise destes extremos hidrológicos é necessário predefinir os tempos de retorno adequados para computar os hidrogramas afluentes de projeto. Teoricamente, a quantificação destes eventos pode ser realizada com base em dados históricos de vazão (métodos diretos) ou com base na precipitação (métodos indiretos). No caso do presente trabalho foi adotada uma abordagem baseada na série de precipitações devido à amostra limitada de medidas de vazão para um estudo desta natureza.

Nas análises do 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, fornecendo, finalmente, elementos suficientes para a determinação da cota de coroamento da barragem. A cheia decamilenar servirá apenas para verificar a condição de não galgamento da barragem, isto é, não considerando folga para esta frequência de cheia. A partir destes princípios, apresentam-se neste capítulo as alternativas para redimensionamento do sangradouro.

6.2 Metodologia

6.2.1 Chuva de projeto

O HEC-HMS, permite a entrada de tormentas históricas ou sintéticas, sendo as últimas frequentemente utilizadas para planejamento e estudos de projetos. No capítulo que trata da pluviometria, foram calculadas as chuvas intensas esperadas para a bacia hidrográfica. Utilizou-se o método de Taborga para calcular a chuva de projeto. O método dos blocos alternados (Chow, Maidment, Mays, 1988) foi utilizado para posicionar os blocos com máxima altura de chuva incremental no meio da duração do evento, deixando os blocos restantes em ordem decrescente de intensidade. Os hietogramas de projeto têm duração de 24 horas e foram determinados para os tempos de retorno de 1000 e 10000 anos.

6.2.2 Precipitação efetiva e hidrograma de projeto

O modelo HEC-HMS refere-se à 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 pode ser usado nos outros componentes do modelo HEC-HMS, em especial, na determinação do hidrograma unitário.

O hidrograma de projeto foi determinado através da aplicação do método CN (Curva – Número) do SCS, derivado dos estudos do USDA (USA). O CN é um coeficiente que varia de 1 a 100, sendo função das propriedades que caracterizam o escoamento superficial na bacia: a) tipo de solo hidrológico; b) uso do solo e tratamento ou técnica de conservação; c) condição da subsuperfície; e d) condição da umidade antecedente.

A equação de escoamento do SCS é dada por

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

Em que:

P = precipitação

Q = escoamento

S = capacidade máxima de armazenamento do solo

la = perdas antes do início do escoamento.

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

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

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

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

Em que S está relacionado às condições de solo e cobertura através do parâmetro CN por

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

Em que 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	CONDIÇÕES ÚMIDAS
$CN (I) = \frac{4,2.CN(II)}{10 - 0,058.CN(II)}$	$CN (III) = \frac{2,3.CN(II)}{10 + 0,13.CN(II)}$

Alternativamente, os CNs para estas condições podem ser obtidos, a partir da condição normal (AMC II), utilizando-se tabelas⁷.

⁷ PONCE, V.M., 1989. ENGINEERING HYDROLOGY: PRINCIPLES AND PRACTICES. PRENTICE HALL, NEW JERSEY, 640 p.

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 argila.

B - solos menos permeáveis que o anterior, solos arenosos menos profundos 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.

6.2.3 Propagação da cheia no reservatório

Foi empregado o método de Puls para propagação de cheias em reservatórios. Este método consiste em uma expressão discretizada da equação da continuidade concentrada, e na relação entre vazão e armazenamento.

Discretização em diferenças finitas da equação da continuidade:

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

Como temos $Q=f(S)$ representado pela curva de descarga do vertedouro e, usando os valores de I (hidrograma afluente), o esquema numérico produz o hidrograma de saída após o espraiamento da onda de cheia no reservatório.

A equação do vertedouro toma a seguinte forma:

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

Em que:

Z = cota (m);

Z_w = cota da soleira (m);

S = armazenamento (m³);

Q = vazão (m³/s);

C = coeficiente do sangradouro (m^{1/2}/s);

L = largura do sangradouro (m);

6.3 Resultados

A implementação da metodologia de transformação chuva-vazão de acordo com o método SCS foi realizada com a utilização do programa HEC-HMS 4.0. Os parâmetros referentes à topografia da bacia para o cálculo dos tempos de concentração foram derivados do modelo numérico de terreno SRTM, com resolução espacial de 30m. O tempo de concentração da bacia calculado foi de 2 horas e 30 minutos, o que dá um tempo de retardo T_{lag} de 90 minutos. A estimativa do CN utilizou como

base a interpretação visual de imagens de satélite da área e os tipos de solo hidrológicos predominantes (B e C). A ponderação com os usos da terra forneceu um CN médio de 70.

6.3.1 Hidrogramas de projeto

Para o dimensionamento do vertedouro, as cheias de projeto foram calculadas com os respectivos hietogramas determinados para os tempos de recorrência de 1.000 anos e 10.000 anos. Os picos dos hidrogramas afluentes ao Açude Itapebussu, associados aos tempos de retorno 1.000 e 10.000 anos foram, respectivamente, de 546,2 m³/s e 701,0 m³/s (Figura 12 e Figura 13).

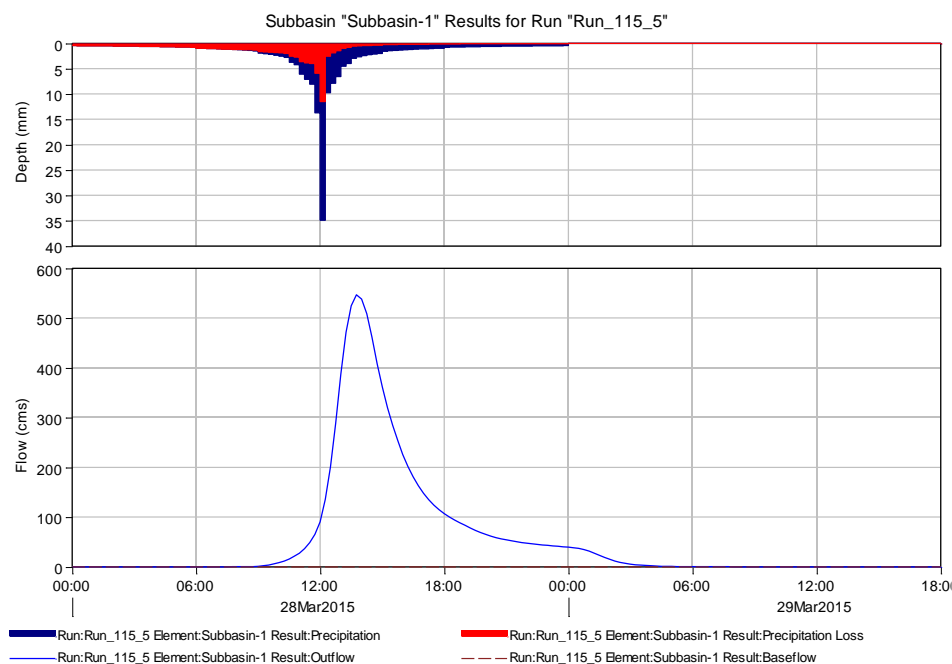


Figura 12 – Hidrograma afluente de projeto ($T_r = 1000$ anos)

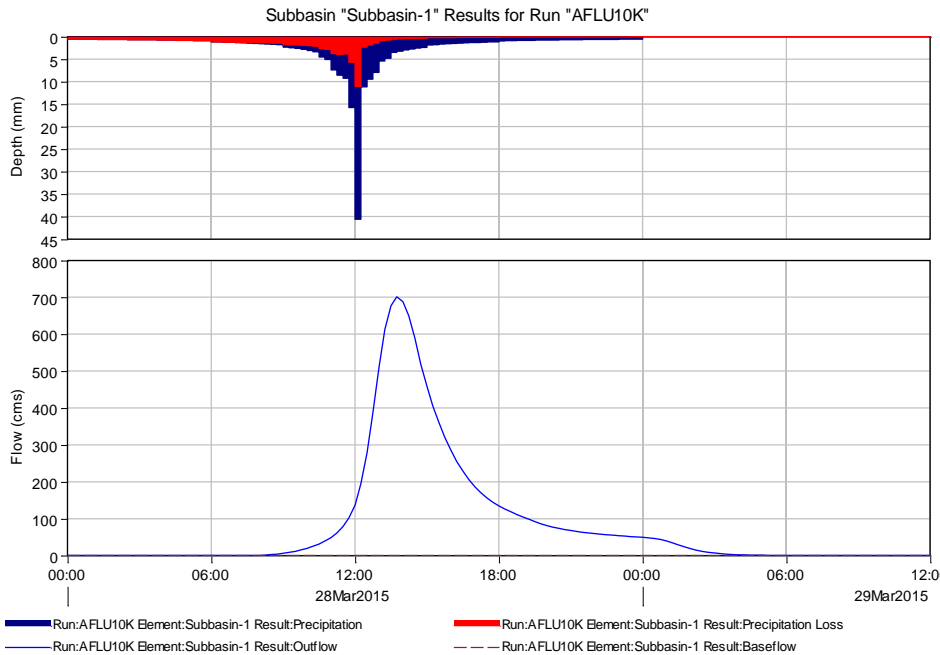


Figura 13 – Hidrograma afluente para verificação do não galgamento maciço ($Tr = 10000$ anos)

6.3.2 Propagação da cheia e análise de alternativas

Como subsídio para a definição da dimensão do reservatório, foi realizado a propagação das cheias e laminação para as várias alturas de barragem com tempos de retorno de 1.000 anos.

O vertedouro do projeto atual é de soleira espessa e escavado em rocha com largura de 90 metros ($C=1,5 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$). As alternativas para ampliação da barragem sem mudança significativa na geometria do vertedouro estão na Tabela 15.

Foram estudadas alternativas de sangradouro tipo perfil Creager ($C = 2.095$ a $2,162 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$). A variação de volume acumulado estudado é correspondente às seguintes cotas de soleira: 116.5, 117.0 e 117.5 metros. As tabelas a seguir apresentam todos os resultados. Também são mostrados os hidrogramas de entrada e saída calculados com o HEC-HMS.

Tabela 15 – Propagação no vertedor soleira espessa (somente largura 90m), $Q_{\text{afluente}} = 546,2 \text{ m}^3/\text{s}$

Cota de Sangria (m)	Vazão de Pico Efluente (m^3/s)	Cota de Pico (m)	Lâmina Max. (m)
115.85*	229,7	117.28	1.43
116.35**	212.5	117.70	1.35
116.85	198.9	118.14	1.29
117.00	193.0	118.27	1.27

(*) Cordão de fixação do projeto, como construído originalmente está nesta cota: 115,85m.

(**) Em campo constatou-se construção de um muro sobre o vertedouro original, que elevou a cota de sangria para 116,35m.

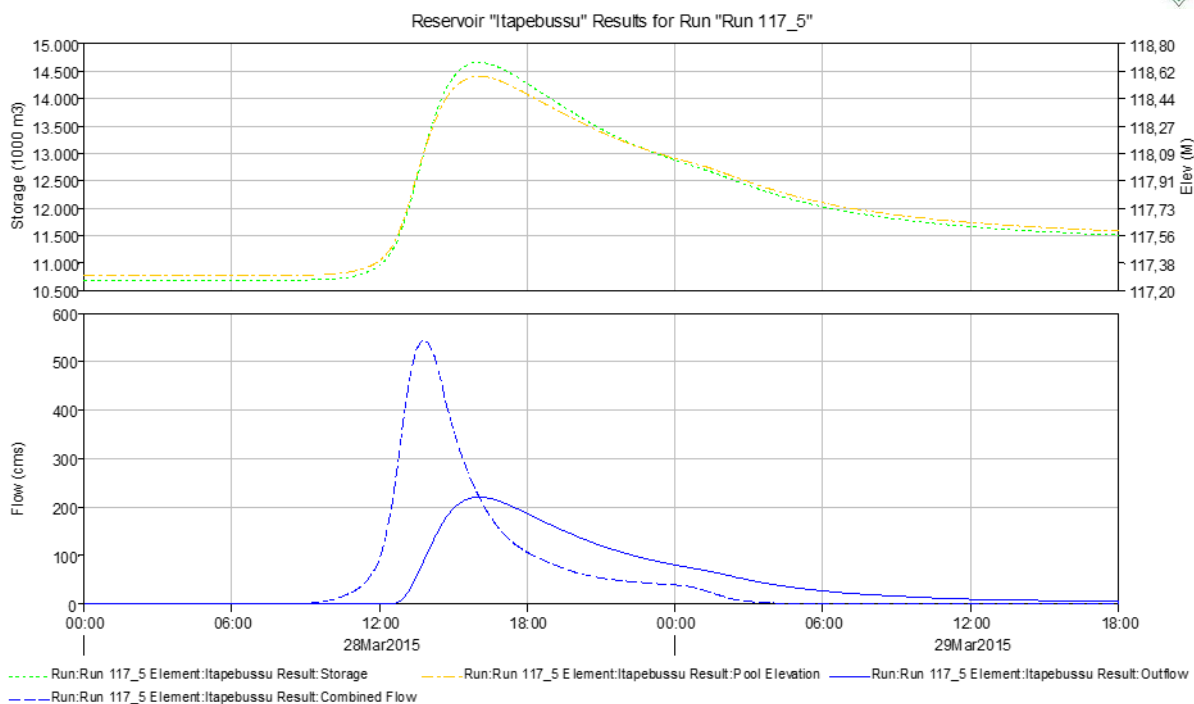


Figura 14 - Amortecimento da cheia de projeto na situação atual (cota 116.35 m; Vertedor soleira espessa, Largura de 90 metros)

Propagação no vertedouro tipo Creager para o tempo de retorno de 1000 anos (projeto)

Tabela 16 – Propagação no vertedouro creager (cota 116.5, variando a largura)

COTA 116.5		Tr = 1000 anos		
Qafluente = 546.2 m ³ /s				
Tipo de Vertedouro =	Ogee (Perfil Creager)	C = 2.095		
Cota da Soleira =	116.5 m			
Volume controlado =	8.764 hm ³			
Prof. Açude =	11.88 m			
Alternativa	Vazão Máxima Efluente (m ³ /s)	Cota de Pico (m)	Lâmina Máxima (m)	Largura (m)
A I (L = 90m)	249.5	117.71	1.21	90
B I (L = 105m)	268.4	117.64	1.14	105

CI (L = 120m)	285.8	117.59	1.09	120
----------------------	-------	--------	------	-----

Tabela 17 - Propagação no vertedouro creager (cota 117.0, variando a largura)

COTA 117.0		Tr = 1000 anos		
Qafluente = 546.2 m³/s				
Tipo de Vertedouro =	Ogee (Perfil Creager)	C = 2.144		
Cota da Soleira =	117,0 m			
Volume controlado =	9,836 hm³			
Prof. Açude =	12,38 m			
Alternativa	Vazão Máxima Efluente (m³/s)	Cota de Pico (m)	Lâmina Máxima (m)	Largura (m)
A2 (L = 90m)	236.0	118,14	1.14	90
B2 (L = 105m)	256.3	118.09	1.09	105
C2 (L = 120m)	274.4	118.04	1.04	120

Tabela 18 - Propagação no vertedouro creager (cota 117.5, variando a largura)

COTA 117.5		Tr = 1000 anos		
Qafluente = 546.2 m³/s				
Tipo de Vertedouro =	Ogee (Perfil Creager)	C = 2.162		
Cota da Soleira =	117.5 m			
Volume controlado =	11,168 hm³			
Prof. Açude =	12.88 m			
Alternativa	Vazão Máxima Efluente (m³/s)	Cota de Pico (m)	Lâmina Máxima (m)	Largura (m)
A3 (L = 90m)	220.9	118.59	1.09	90
B3 (L = 105m)	239.0	118.54	1.04	105
C3 (L = 120m)	255.6	118.49	0.99	120

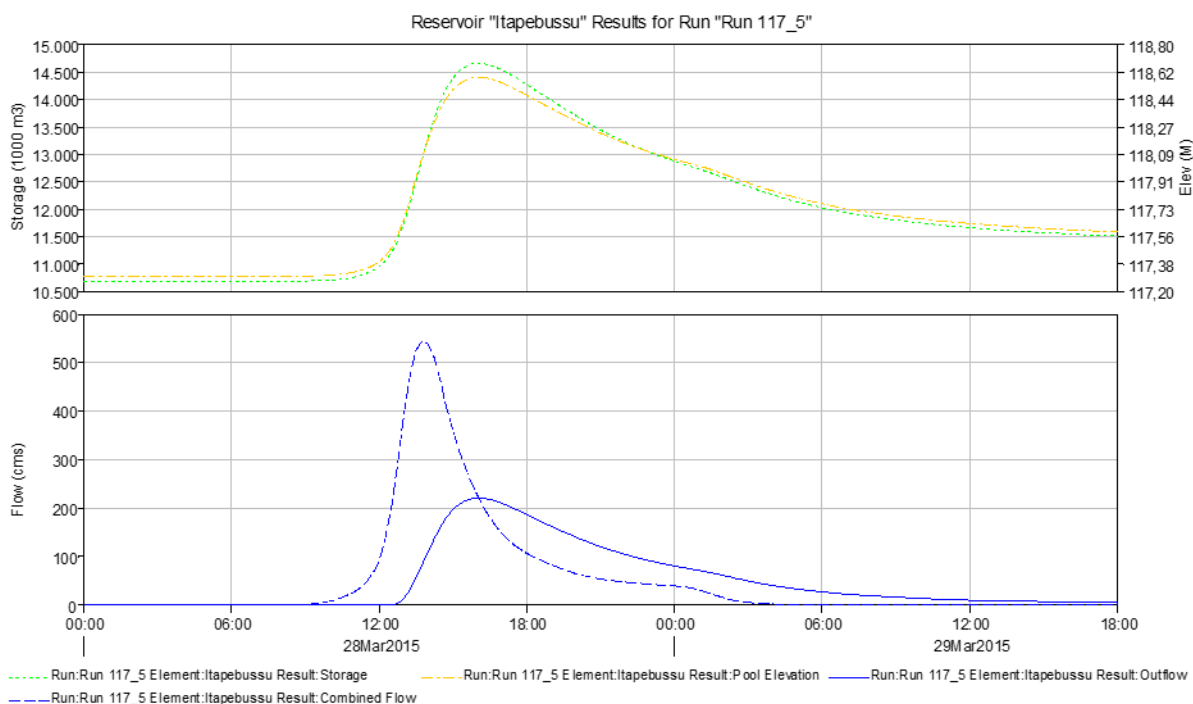


Figura 15 - Amortecimento da cheia de projeto da alternativa A3 (cota 117.5 m; Vertedor ogee, Largura de 90 metros)

Propagação no vertedouro tipo Creager para o tempo de retorno de 10000 anos (verificação de não calçamento do maciço)

Tabela 19 – Propagação no vertedouro creager (cota 116.5, variando a largura)

COTA 116.5		Tr = 10000 anos		
Qafluente = 701.0 m³/s				
Tipo de Vertedouro =	Ogee (Perfil Creager)	C= 2.095		
Cota da Soleira =	116.5 m			
Volume controlado =	8.764 hm³			
Prof. Açude =	11.88 m			
Alternativa	Vazão Máxima Efluente (m³/s)	Cota de Pico (m)	Lâmina Máxima (m)	Largura (m)
A I (L = 90m)	348.7	118,01	1.51	90
B I (L = 105m)	374.5	117,93	1.43	105
C I (L = 120m)	396.9	117,86	1.36	120

Tabela 20 - Propagação no vertedouro creager (cota 117.0, variando a largura)

COTA 117.0		Tr = 10000 anos		
Qafluente = 701.0 m³/s				
Tipo de Vertedouro =	Ogee (Perfil Creager)	C = 2.144		
Cota da Soleira =	117,0 m			
Volume controlado =	9,836 hm ³			
Prof. Açude =	12,38 m			
Alternativa	Vazão Máxima Efluente (m³/s)	Cota de Pico (m)	Lâmina Máxima (m)	Largura (m)
A2 (L = 90m)	326,7	118.42	1.42	90
B2 (L = 105m)	352,6	118.35	1.35	105
C2 (L = 120m)	375,5	118.29	1.29	120

Tabela 21 - Propagação no vertedouro creager (cota 117.5, variando a largura)

COTA 117.5		Tr = 10000 anos		
Qafluente = 701.0 m³/s				
Tipo de Vertedouro =	Ogee (Perfil Creager)	C = 2.162		
Cota da Soleira =	117.5 m	Q = C.L.H ^{1.5}		
Volume controlado =	11,168 hm ³			
Prof. Açude =	12.88 m			
Alternativa	Vazão Máxima Efluente (m³/s)	Cota de Pico (m)	Lâmina Máxima (m)	Largura (m)
A3 (L = 90m)	312.0	118.87	1.37	90
B3 (L = 105m)	336.5	118.80	1.30	105
C3 (L = 120m)	358.6	118.74	1.24	120

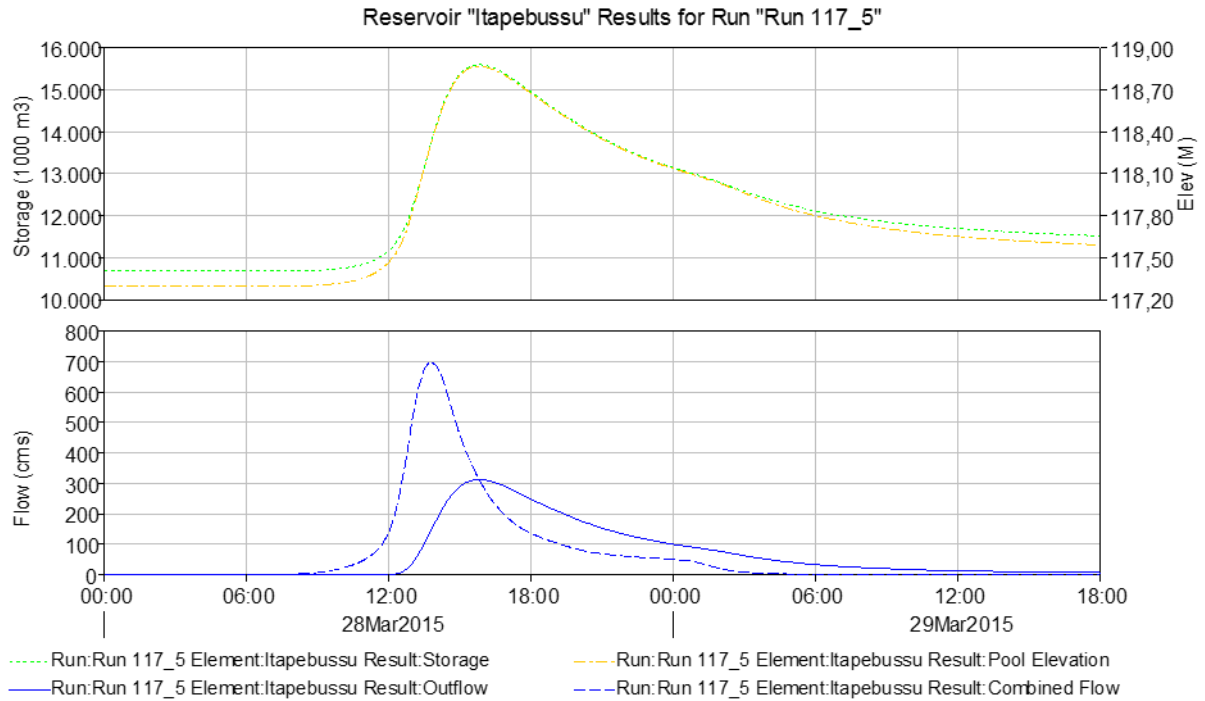


Figura 16- Amortecimento da **cheia decamilinear** da alternativa A3 (cota 117.5 m; Vertedor ogee, Largura de 90 metros)

ANEXO

TABELA COTA X ÁREA X VOLUME

Cota	Área	Volume
------	------	--------



(m)	(m ²)	(m ³)
104.62	0	0
105.00	157	20
105.50	499	184
106.00	2408	911
106.50	10294	4086
107.00	32116	14689
107.50	75342	41553
108.00	146440	96999
108.50	210074	186127
109.00	280358	308735
109.50	354512	467453
110.00	458475	670700
110.50	544980	921563
111.00	628732	1214991
111.50	702078	1547694
112.00	763093	1913986
112.50	814772	2308452
113.00	1070218	2779700
114.00	1376543	4003080
115.00	1720952	5551827
115.85	1952444	7113020
116.00	2124614	7466995
117.00	2612814	9835709
118.00	3090977	12687605
119.00	3614500	16040344

VOLUMES ESTIMADOS: $V = 5226.9 * h^3$

116.50	H = 11.88	8763821
117.50	H = 12.88	11168421

OBSERVAÇÕES SOBRE A CURVA COTA-ÁREA-VOLUME

A curva cota-área-volume baseia-se em um conjunto de evidências obtidas durante a execução deste projeto:

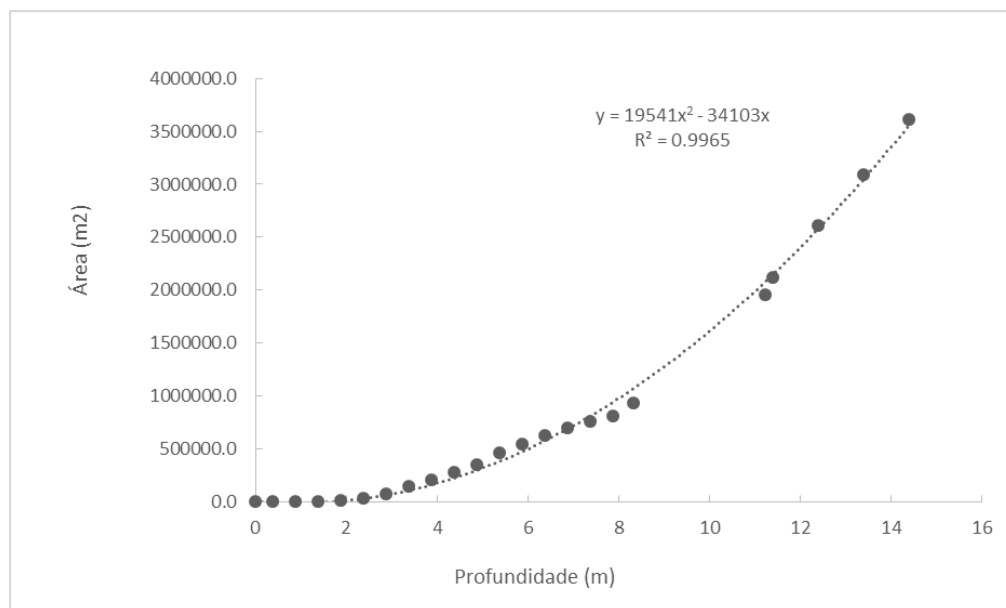
- 1) Batimetrias realizadas pela COGERH em dezembro de 2010;
- 2) Topografia executada pela CONSTRUTEC entre os meses de janeiro e maio de 2015;

Foram mantidos os valores das áreas levantadas na batimetria até a cota 112,5 (Área = 814772,0 m²).

A partir do levantamento topográfico e transporte de cotas da CONSTRUTEC, constatou-se que a cota correspondente à soleira do cordão de fixação de concreto original do sangradouro refere-se à cota 115,85 e não 115,50. A área correspondente à cota de sangria foi obtida a partir das informações do levantamento batimétrico e verificado por digitalização de imagens de satélite em datas em que o açude estava sangrando.

Também foi constatada em campo a construção de um muro exatamente na seção transversal do sangradouro, não previsto no projeto original, que elevou a cota de sangria para 116,35m.

A CONSTRUTEC, no seu levantamento planialtimétrico atual, obteve o contorno das curvas de nível 116,0, 117,0, 118,0 e 119,0m. Assim, restou estimar as áreas entre as cotas 112,0 e 116,0; ou seja, cotas 113,0, 114,0 e 115,0m. Estes valores foram calculados a partir de uma nova função $A = f(h) \rightarrow A = 19541 h^2 - 34103h$, baseando-se unicamente nas informações citadas acima.



Função $h = f(A)$ para o Açude Itapebussu.

HIDROGRAMA DE PROJETO (TR = 1000 ANOS)

Dia	Tempo	Precipitação (mm)	Vazão afluente (m3/s)
28-mar	00:00		0
28-mar	00:15	0.48	0
28-mar	00:30	0.48	0
28-mar	00:45	0.49	0
28-mar	01:00	0.5	0
28-mar	01:15	0.51	0
28-mar	01:30	0.52	0
28-mar	01:45	0.53	0
28-mar	02:00	0.54	0
28-mar	02:15	0.55	0
28-mar	02:30	0.56	0
28-mar	02:45	0.57	0
28-mar	03:00	0.58	0
28-mar	03:15	0.59	0
28-mar	03:30	0.61	0
28-mar	03:45	0.62	0
28-mar	04:00	0.64	0
28-mar	04:15	0.65	0
28-mar	04:30	0.67	0
28-mar	04:45	0.68	0
28-mar	05:00	0.7	0
28-mar	05:15	0.72	0
28-mar	05:30	0.74	0
28-mar	05:45	0.76	0
28-mar	06:00	0.79	0
28-mar	06:15	0.97	0
28-mar	06:30	1	0
28-mar	06:45	1.03	0
28-mar	07:00	1.07	0
28-mar	07:15	1.11	0
28-mar	07:30	1.15	0
28-mar	07:45	1.2	0
28-mar	08:00	1.25	0
28-mar	08:15	1.3	0.1
28-mar	08:30	1.37	0.2
28-mar	08:45	1.44	0.6
28-mar	09:00	1.52	1.2
28-mar	09:15	1.94	2.1
28-mar	09:30	2.06	3.5
28-mar	09:45	2.2	5.5
28-mar	10:00	2.36	8.1
28-mar	10:15	2.56	11.5
28-mar	10:30	2.81	15.7



28-mar	10:45	3.78	20.8
28-mar	11:00	4.24	27.4
28-mar	11:15	6.11	36.1
28-mar	11:30	7.14	48.3
28-mar	11:45	8.07	65.2
28-mar	12:00	13.74	90.2
28-mar	12:15	34.93	135.4
28-mar	12:30	9.74	201.1
28-mar	12:45	7.89	287.9
28-mar	13:00	6.57	387.4
28-mar	13:15	4.53	471.1
28-mar	13:30	3.99	524.5
28-mar	13:45	2.96	546.2
28-mar	14:00	2.68	537.8
28-mar	14:15	2.46	508.8
28-mar	14:30	2.28	461.6
28-mar	14:45	2.13	407.5
28-mar	15:00	2	361.1
28-mar	15:15	1.57	319.5
28-mar	15:30	1.48	284.3
28-mar	15:45	1.4	252.9
28-mar	16:00	1.34	225.3
28-mar	16:15	1.28	201.5
28-mar	16:30	1.22	180.9
28-mar	16:45	1.17	163.1
28-mar	17:00	1.13	147.8
28-mar	17:15	1.09	134.8
28-mar	17:30	1.05	123.8
28-mar	17:45	1.01	114.6
28-mar	18:00	0.98	106.8
28-mar	18:15	0.8	99.9
28-mar	18:30	0.78	93.9
28-mar	18:45	0.75	88.5
28-mar	19:00	0.73	83.2
28-mar	19:15	0.71	78.1
28-mar	19:30	0.69	73.4
28-mar	19:45	0.68	68.9
28-mar	20:00	0.66	64.9
28-mar	20:15	0.64	61.4
28-mar	20:30	0.63	58.6
28-mar	20:45	0.61	56.1
28-mar	21:00	0.6	54
28-mar	21:15	0.59	52.1
28-mar	21:30	0.58	50.4
28-mar	21:45	0.56	48.9
28-mar	22:00	0.55	47.5
28-mar	22:15	0.54	46.2
28-mar	22:30	0.53	45
28-mar	22:45	0.52	43.9



28-mar	23:00	0.51	42.9
28-mar	23:15	0.5	42
28-mar	23:30	0.5	41.1
28-mar	23:45	0.49	40.3
29-mar	00:00	0.48	39.5
29-mar	00:15	0	38.4
29-mar	00:30	0	36.9
29-mar	00:45	0	34.7
29-mar	01:00	0	31.4
29-mar	01:15	0	27.3
29-mar	01:30	0	23
29-mar	01:45	0	18.7
29-mar	02:00	0	14.9
29-mar	02:15	0	11.5
29-mar	02:30	0	8.9
29-mar	02:45	0	6.9
29-mar	03:00	0	5.4
29-mar	03:15	0	4.2
29-mar	03:30	0	3.2
29-mar	03:45	0	2.5
29-mar	04:00	0	1.9
29-mar	04:15	0	1.5
29-mar	04:30	0	1.2
29-mar	04:45	0	0.9
29-mar	05:00	0	0.7
29-mar	05:15	0	0.5
29-mar	05:30	0	0.4
29-mar	05:45	0	0.3
29-mar	06:00	0	0.2
29-mar	06:15	0	0.2
29-mar	06:30	0	0.1
29-mar	06:45	0	0.1
29-mar	07:00	0	0