

CPRM, com dados resultantes de precipitações anuais entre os anos de 1977 a 2006. A Figura 3-7 apresenta as isoietas presentes adjacentes à área de estudo.

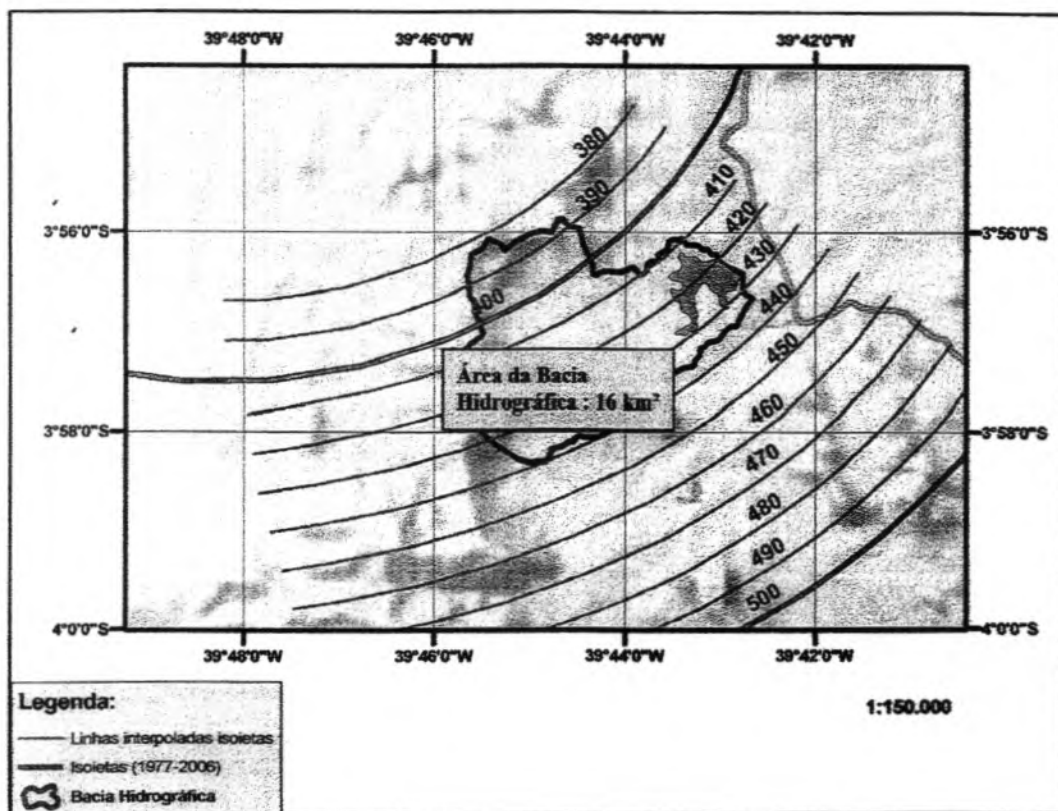


Figura 5.8 - Isoietas da região de estudo da barragem Boa Vista - Irauçuba

Pela Figura acima, observa-se uma baixa pluviometria na região da bacia hidrográfica, apresentando índices que chegam entre 380mm a 440mm de chuva por ano. A determinação da chuva espacial da bacia de contribuição será pela média ponderada de cada faixa abrangente pela área de influência. Neste cálculo, são determinadas as áreas parciais contidas entre duas isoietas sucessivas e a precipitação média em cada área parcial, que é obtida fazendo-se a média dos valores de duas isoietas. A tabela a seguir apresenta um resumo do cálculo realizado.

Intervalo das isoietas	Área de abrangência (km ²)	Precipitação média (mm)	Precipitação X Área (mm x km ²)
430-440	3	435	1305
420-430	4,3	425	1828
410-420	3,9	415	1619
400-410	2,2	405	891
390-400	1,8	395	711
380-390	0,8	385	308

Ciro M. Siqueira
 Engenheiro Civil
 RN: 020.7571960
 CREA - CE 56322

Ciro M. Siqueira
 Engenheiro Civil
 RN: 020.7571960
 CREA - CE 56322

SOMA:	16,0	6661
Precipitação média (mm):		416

Por este procedimento, temos uma precipitação média na bacia do açude Boa Vista de 416 mm/ano.

5.4.2 Análise dos dados pluviométricos dos postos locais

Esta análise visa identificar a precipitação média anual na bacia de contribuição por meio de dados históricos de monitoramentos realizados por pluviômetros. Ao consultar-se o banco de dados hidrológicos Hidroweb, da Agência Nacional de Águas, verificou-se a existência de 28 postos pluviométricos nas proximidades e no interior da bacia estudada, num raio de 40 km. Dentre os postos existentes, selecionou-se 16 postos mais próximos da bacia e com maiores períodos de monitoramento a fim de se obter dados de precipitação representativos. A Tabela 2-6 mostra a disponibilidade de dados nos postos avaliados e a Figura 5.9 apresenta a distribuição espacial dos postos escolhidos em relação à bacia hidrográfica.

Tabela 5-1 - Postos pluviométricos na região da bacia hidrográfica

POSTO	Código	Operadora	Município	Coordenadas		Período	Série total (anos)	Observação
				Lat	Long			
VERTENTES	339031	DNOCS	ITAPAGÉ	-3:56:0	-39:34:0	55	1935 - 1990	Posto desativado
BOA VISTA DO CAXITORÉ	339052	FUNCEME	IRAUÇUBA	-3:55:0	-39:42:0	16	2000 - 2016	Posto com poucos dados e com muita descontinuidade
IRAUÇUBA	339053	FUNCEME	IRAUÇUBA	-3:44:0	-39:45:0	35	1981 - 2016	-
AÇUDE ARACATIÇU	340003	DNOCS	SOBRAL	-3:54:0	-40:1:0	86	1915 - 2001	Posto desativado
AÇUDE SANTA MARIA	439021	DNOCS	SOBRAL	-4:5:0	-39:56:0	69	1920 - 1989	Posto desativado
JUÁ	339054	FUNCEME	IRAUÇUBA	-3:52:58	-39:52:1	14	1999 - 2013	Posto com poucos dados
AÇUDE PATOS	340009	DNOCS	SOBRAL	-3:46:0	-40:2:0	72	1917 - 1989	Posto desativado
IRATINGA	339020	DNOCS	ITAPAGÉ	-3:44:0	-39:32:0	64	1921 - 1985	Posto desativado
AÇUDE SÃO PEDRO DA TIMBAUBA	339066	FUNCEME	MIRAIMA	-3:55:0	-39:58:0	10	1994 - 2004	Posto com poucos dados e desativado

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 064571960
CREA - CE: 56322

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 064571960
CREA - CE: 56322



PARAFUSO	439010	DNOCS	CANINDÉ	-4:16:0	-39:39:0	55	1936 - 1989	Posto desativado
SALVAÇÃO	439005	DNOCS	PARAMOTI	-4:15:0	-39:29:0	49	1935 - 1984	Posto desativado
TEJUÇUOCA	339070	FUNCEME	TEJUÇUOCA	-3:59:0	-39:35:0	27	1988 - 2015	-
TEJUÇUOCA	439019	DNOCS	ITAPAGÉ	-4:2:0	-39:31:0	65	1935 - 2000	Posto desativado
SÃO JOAQUIM	339056	FUNCEME	ITAPAGÉ	-3:45:0	-39:40:0	11	1999 - 2010	Posto com poucos dados e desativado
FAZENDA SÃO JOÃO	339045	CPRM	APUIARES	-	-	23	1993 - 2016	-
GENERAL SAMPAIO	439031	FUNCEME	GENERAL SAMPAIO	-4:3:0	-39:27:0	35	1981 - 2016	-

Fonte: Hidroweb

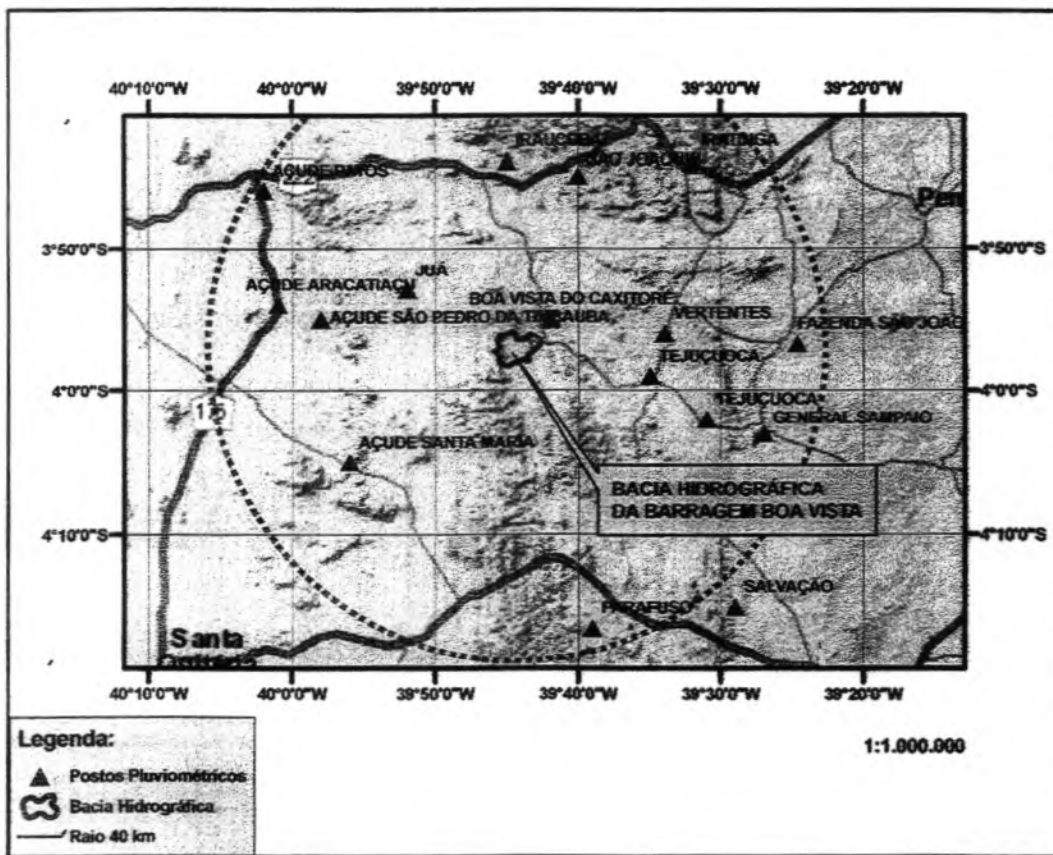


Figura 5.9 - Distribuição dos postos pluviométricos

Devido a pequena dimensão da bacia hidrográfica, nenhum dos postos existentes encontra-se efetivamente no interior da área de contribuição, o que dificulta o estudo de chuvas com mais precisão. O posto mais próximo da bacia hidrográfica, posto Boa Vista do Caxitoré (339052), localizado a 3 km de distância do eixo barrável, apresenta

Ciro M. Siqueira
 Engenheiro Civil
 RN: 061.267.1960
 CREA - CE: 66322

Ciro M. Siqueira
 Engenheiro Civil
 RN: 061.267.1960
 CREA - CE: 66322

uma média de precipitação anual dos mais baixos entre os postos presentes a região, totalizando uma pluviometria média de 406 mm/ano.

O baixo índice pluviométrico pode indicar uma tendência hidrológica da região ou mesmo falta de representatividade por parte dos dados em análise. Para evitar o uso de dados não representativos, será apresentada a seguir uma pesquisa mais abrangente dos postos circunvizinhos, a fim de avaliar o comportamento histórico de pluviometria da região.

Analisando ainda outros postos mais próximos do local de estudo, como o posto Irauçuba (339053), distante em 24 km do barramento, cuja a série histórica apresenta um intervalo satisfatório de monitoramento de 34 anos(1981 à 2016). A precipitação média para este posto foi de 454 mm/ano, ratificando a tendência identificada com o posto Caxitoré de que a região realmente tende a ter um baixo índice pluviométrico. Os postos de São joaquim (339056) e de Juá (339054), ambos localizado a uma distância média de 20 km da barragem, também apresentam baixos índices pluviométricos entre 527à 552 mm/ano, ratificando a tendência pluviométrica observada na região.

Quanto aos demais postos, o índice de chuva varia muito, podendo chegar a uma média superior a 900 mm/ano. É notório que nesta região existe uma grande variação climática, e esta variabilidade espacial pode ocorrer devido a influenciada do relevo local, uma vez que a região encontra-se numa parte mais baixa, cercada por serras como: a Serra da Catarina (Tejuçuoca) ao sul do local do barramento, e a Serra do Missi(Irauçuba) ao norte da obra.

Com a falta de postos nas limitações da bacia hidrográfica, optou-se por realizar um estudo da precipitação média na bacia, por meio de extrapolação numérica, em função dos dados dos postos circunvizinhos a bacia hidrográfica. Este método é semelhante ao das isoietas, contudo, o procedimento é realizado com uma abordagem local.

Analisou-se os dados de cada posto, avaliando a qualidade e o grau de confiabilidade dos mesmos, como objetivo de minimizar possíveis dados errados nos estudos de chuva. Entre todos os postos avaliados, apenas dois foram excluídos por não apresentarem representatividade.

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 060.571960
CREA - CE 56322

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 060.571960
CREA - CE 56322

O posto Boa Vista do Caxitoré (339052) já citado, apesar de mais próximo, apresentava entre todos os postos, o menor índice pluviométrico da região. Como os dados do referido posto são recentes, e num pequeno intervalo de anos, os baixos índices pluviométricos dos últimos anos influenciaram no valor médio da pluviometria histórica da estação, não sendo representativo para o presente estudo, e, portanto, excluído das análises.

O posto Vertentes (339031), apesar de uma série histórica de extensão satisfatória (56 anos de dados), a confiabilidade dos dados do referido posto foi classificada como duvidosa. Nos anos de maiores índices de pluviometria, como 1975 (pluviometria de 2213 mm) e o ano de 1985 (pluviometria de 2586 mm), estes índices pluviométricos foram muito superiores aos dos demais postos analisados, influenciando diretamente na média histórica do referido posto, com o valor médio de 836 mm/ano. Postos muito próximos como o Tejucuoca I (339070) e o Tejucuoca II (439019), distantes respectivamente entre 6 km e 12 km do posto Vertentes, apresentam médias pluviométricas de 586mm e 673 mm nesta ordem. Isto denota uma discrepância nos valores médios do posto Vertentes, justificando a exclusão do posto dos estudos de pluviometria.

Os demais postos foram analisados em função dos respectivos valores médios de precipitação e pela distribuição espacial de cada estação. A partir destes dados, interpolou-se os dados históricos através de isolinhas (linhas de mesmo valor de precipitação), semelhante ao resultado gráfico das isoietas. A diferença básica entre este procedimento e o das isoietas está na qualidade dos dados, uma vez que o mapa de isoietas foi gerado com base em dados de 1977 a 2006 (30 anos de dados), e este procedimento trabalha com dados com um maior intervalo de tempo (média de 43 anos).

Na Figura a seguir é apresentado o resultado gráfico da interpolação realizada com os dados dos postos circunvizinhos.

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 012571960
CREA RJ: 56322

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 012571960
CREA RJ: 56322

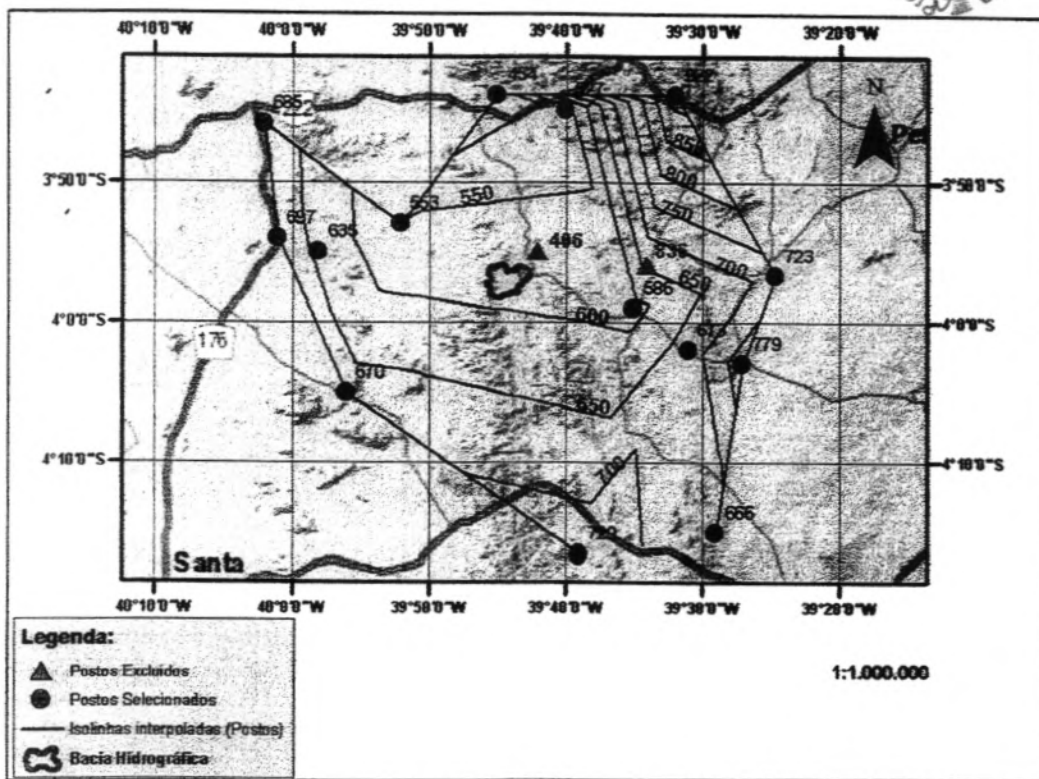


Figura 5.10 - Isolinhas geradas a partir dos dados pluviométricos históricos

O procedimento de cálculo é também semelhante ao do método das isoietas, subdividindo a bacia em regiões respectivamente influenciadas pela isolinha de precipitação correspondente, como é mostrado na Figura 5.11, ilustração que apresenta as precipitações na área da bacia hidrográfica.

Ciro M. Siqueira
 Engenheiro Civil
 RN: 0504571960
 CREA - CE-56322

Ciro M. Siqueira
 Engenheiro Civil
 RN: 0504571960
 CREA - CE-56322

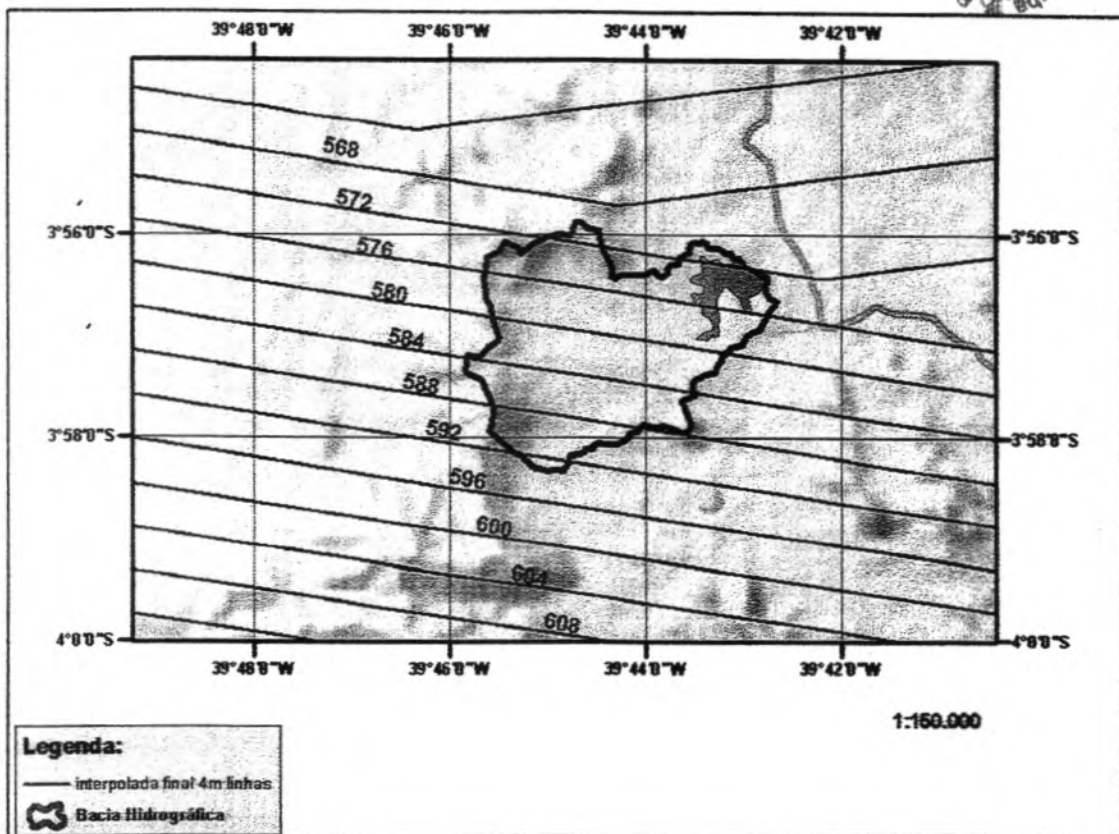


Figura 5.11 - Isolinas na bacia hidrográfica

O valor médio da precipitação anual na bacia de contribuição foi calculado no valor de **581 mm/ano**, conforme é apresentado a memória de cálculo no quadro a seguir:

Quadro 5.7 – Memória de cálculo das precipitações anuais na bacia hidrográfica

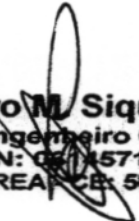
Intervalo das isoietas	Área de abrangência (km ²)	Precipitação média (mm)	Precipitação x Área (mm x km ²)
568-572	0,5	570	285
572-576	3,4	574	1952
576-580	4	578	2312
580-584	3,3	582	1921
584-588	3	586	1758
588-592	1,6	590	944
592-596	0,2	594	119
SOMA:	16		9290
Precipitação média:			581


Ciro M. Siqueira
 Engenheiro Civil
 RN: 1678571960
 CREA - CE - 56322

Ciro M. Siqueira
 Engenheiro Civil
 RN: 1678571960
 CREA - CE - 56322



6. MEMÓRIA DE CALCULO


Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 0511571960
CREA/CE: 56322


Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 0511571960
CREA/CE: 56322

6. MEMÓRIA DE CALCULO



6.1 Cálculos Hidrológicos

6.1.1 Método de Aguiar



Apesar da simplicidade inerente à obra de um pequeno barramento, tal como para qualquer obra hídrica, os estudos hidrológicos são extremamente necessários para o dimensionamento. É com base nestes estudos que será possível definir o volume de acumulação do açude, e principalmente, a largura do vertedouro, necessária à vazão de sangria.

Durante o dimensionamento, devem ser avaliados os riscos da obra, com base nos prejuízos eventualmente causados em decorrência de um colapso (ruptura). No caso de barragens, geralmente há uma preocupação maior no que concerne aos riscos de perdas de vidas humanas. Todavia, este temor não se aplica ao presente estudo, uma vez que o volume de armazenamento desta obra é pequeno, e ademais, não há habitações próximas à barragem, de forma que um colapso pudesse oferecer perigo de vida.

Os estudos hidrológicos foram, assim, desenvolvidos com base no Método Empírico do Eng. Aguiar, que tem sido largamente adotado nos projetos de obras de barragens no semiárido nordestino, fruto da experiência do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), órgão tradicional, quase secular, responsável pela maioria das barragens construídas na região.

Indicado para o dimensionamento de pequenas barragens de terra (até 10 m de altura), para um período de retorno secular, o Método do Eng. Aguiar recomenda o cálculo da descarga secular conforme a Equação 6.1:

$$Q_s = \frac{1150 \times S}{\sqrt{LC(120 + KLC)}} \quad (6.1)$$

onde:

S = Área da bacia hidrográfica, em Km²;

L = Linha de fundo (ou fetch), em Km; e

K e C = Parâmetros hidrométricos da bacia hidrográfica.

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 9884571960
CREA - CE 56322

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 9884571960
CREA - CE 56322



A adoção deste método, em vez da utilização de modelos mais complexos, como os do software de análise hidrológica (como o HEC-HMS, por exemplo), se deu em função da simplicidade e do tamanho da obra, de baixo risco para um eventual sinistro com perdas de vidas humanas (no caso de seu improvável rompimento), além do desconhecimento da precisão das características físicas das bacias hidrográfica e hidráulica, uma vez que, devido à falta de um amplo levantamento topográfico, recorreu-se ao modelo digital terreno do SRTM.

6.1.2 Memória de Cálculo

Segundo o Estudo hidrológico, a bacia hidrográfica apresenta as seguintes características:

- Precipitação média anual = 581 mm/ano
- Área da bacia hidrográfica (S) = 16,0 km²
- Comprimento do talvegue (L) = 6,9 km
- Tipo de bacia = Ligeiramente acidentada, com depressões evaporativas, com: U=0,7; K=0,400; e C=1,15

Empregando Aguiar, temos:

- Rendimento anual:

Para precipitações entre 500 e 1.000 mm/ano , tem-se R:

$$R(\%) = \frac{H^2 - 400H + 230000}{55000}$$

$$R(\%) = \frac{581^2 - 400 \times 581 + 230000}{55000}$$

$$R(\%) = 6,09$$

- Volume afluente:

$$V_a = R(\%) \times H \times U \times A$$

Onde:

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 0611571960
CREA - CE: 56322

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 0611571960
CREA / CE: 56322

H= Precipitação média anual = 0,581 m/ano

A= Área da bacia hidrográfica (S) = 16.000.000 m²

$$V_a = 0,0609 \times 0,581 \times 0,7 \times 16.000.000$$

$$V_a = 396.538 \text{ m}^3$$

- Volume acumulável:

O cálculo do volume acumulável é em função do volume afluente calculado e pelo Fator adimensional de capacidade (fk). De acordo com Araújo (2003)¹, este fator assume valores muito variáveis nos reservatórios do nordeste brasileiro, superiores a 1,0 em diversos casos e um máximo amostral de 1,76 para o Acude de Banabuiú (estado do Ceará), e um valor médio de 1,4 para o semiárido nordestino. Diante disto, para o cálculo do Volume acumulável, é adotando uma relação de $fk = 1,5$:

$$V_c = fk \times V_a$$

$$V_c = 594.807 \text{ m}^3$$

Analisando o gráfico Cota x Área x Volume, será adotado o Volume próximo acumulável de 592.929 m³ para a cota de cheia de 187,4 m.

- Cheia máxima secular:

$$Q = \frac{1150 \times S}{\sqrt{LC} \cdot (120 + KLC)}$$

$$Q = \frac{1150 \times 16}{\sqrt{6,9 \times 1,00} \cdot (120 + (0,4 \times 6,9 \times 1,00))}$$

$$Q = 53,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para uma lâmina de sangria de 1m, uma largura do vertedouro deverá ser de 30,0

¹ ARAÚJO, Maria Zita Timbó. Barragens no Nordeste do Brasil: experiência do DNOCS em barragens na região Semi-Árida. 3.ed.atual.Fortaleza: DNOCS, 2003. Pagina 36.



- Calculo da largura do vertedouro

A largura do vertedouro é definida pela seguinte expressão:

$$L = \frac{Q_s}{C_0 H_0 \sqrt{H_0}}$$

onde:

- L = largura do sangradouro (m)
- Descarga máxima secular (m^3/s)
- H_0 = Lâmina de sangria (m)
- C_0 = Coeficiente de descarga, função da altura do paramento de montante e da lâmina de sangria

Para uma lâmina de sangria de 1m, e o coeficiente de descarga de 1,77 (valor adotado segundo a literatura para sangradouro escavados em rocha), temos:

$$L = \frac{53}{1,77 \times 1,00 \sqrt{1,00}} = 29,94m$$

Logo, será adotado uma largura de 30,0 metros para o vertedouro da barragem
Boa Vista

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 0611571960
CREA/CE: 56322

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 0611571960
CREA/CE: 56322



6.2 Dimensionamento da Barragem

6.2.1 Cálculo da Folga

A folga da barragem é definida como sendo a diferença de cota entre o coroamento e o nível máximo das águas. A folga é dada pela expressão:

$$f = 0,75 \cdot h + \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (\text{m})$$

Onde:

- h é a altura da onda formada pela ação dos ventos sobre o espelho d'água do lago,
- V é a velocidade das ondas do lago:

A determinação da altura de onda "h" é calculada pelas seguintes fórmulas de Molitor:

para $F < 30\text{km}$.

$$h = 0,75 + 0,032 \cdot \sqrt{v' \cdot F} - 0,27 \cdot \sqrt[4]{v' \cdot F} \quad (\text{m})$$

para $F > 30\text{km}$.

$$h = 0,032 \cdot \sqrt{v' \cdot F} \quad (\text{m})$$

Onde:

- F = denominado de fetch, é a distância máxima (em quilometro) e em linha reta entre qualquer extremidade do lago e um ponto qualquer sobre o barramento.
- v' = a velocidade dos ventos (km/h)

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 08.165X1960
CREA: 02.46322

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 08.165X1960
CREA: 02.46322



Por fim, a velocidade das ondas "V" é calculada pela seguinte expressão:

$$V = 1,5 + 2 \cdot h \quad (\text{m/s})$$



Memória de cálculo:

▪ Cálculo da altura de onda:

Para o lago da barragem, foi medido um fetch máximo $F = 0,4\text{km}$. Com relação as velocidades dos ventos, segundo dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET para a região, a velocidade média dos ventos é de $2,80\text{m/s}$, resultando em aproximadamente 10 km/h . Substituindo os valores na equação de Molitor, temos:

$$F = 0,4\text{km} \Rightarrow h = 0,75 + 0,032 \cdot \sqrt{10 \cdot 0,4} - 0,27 \cdot \sqrt[4]{10 \cdot 0,4} =$$
$$h = 0,43\text{m}$$

▪ Cálculo da velocidade da onda:

$$V = 1,5 + 2 \cdot (0,43) = 2,36\text{m/s}$$

▪ Cálculo da folga:

$$f = 0,75 \cdot (0,43) + \frac{(2,36)^2}{2 \cdot (9,81)} =$$
$$f = 0,85\text{m}$$

6.2.2 Cálculo da Cota do Coroamento

A cota do Coroamento da Barragem Boa Vista é dada pela expressão:

Onde:

- Cota do Coroamento.
- Cota da Solcira = $187,40\text{ m}$.
- Lâmina vertente na cheia centenária = $1,00\text{ m}$ (el.= $188,40$).
- folga = $0,85\text{ m}$.

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 0474571960
CREA: GE 56322

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 0474571960
CREA: GE 56322

$$CC_{\min} = 187,40 + 1,00 + 0,85 = 189,25m$$

Valor adotado:

$$\underline{CC = 189,30m}$$



6.2.3 Cálculo da Largura do coroamento

Adotando-se a fórmula de Preece à seção de maior altura tem-se:

$$L_C = 1,1\sqrt{H} + 1$$

Onde:

L_C = Largura do coroamento da barragem (m);

H = Altura da barragem (m):

- Leito do Rio –topo rochoso: el = 183,00

- Coroamento: el = 189,30

Logo: $L_C = 1,1\sqrt{H} + 1,0$

$$L_C = 1,1\sqrt{6,3} + 1,0$$

$$L = 3,80m,$$

Valor adotado L = 4,00m

6.2.4 Escolha da inclinação dos taludes

A inclinação dos taludes deve ser resultado de um estudo de estabilidade adequado, o qual será apresentado em um capítulo posterior, entretanto é necessário se fazer uma escolha inicial para em seguida se fazer a análise proposta. Para a fixação inicial dos taludes, existem algumas metodologias a serem descritas a seguir.

O Bureau of Reclamation apresenta a tabela abaixo:

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 48.4571960
CREA - CE: 56322

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 48.4571960
CREA - CE: 56322

CASO	SUJEITO A ESVAZIAMENTO RÁPIDO	CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	MONTANTE	JUSANTE
A	NÃO	GW, GP, SW, SP	Permeável, não adequado	
		GC, GM, SC, SM	2,5:1	2:1
		CL, ML	3:1	2,5:1
		CH, MH	3,5:1	2,5:1
B	SIM	GW, GP, SW, SP	Permeável, não adequado	
		GC, GM, SC, SM	3:1	2:1
		CL, ML	3,5:1	2,5:1
		CH, MH	4:1	2,5:1

Terzaghi apresentou, para efeito de anteprojeto, as inclinações aconselháveis que são mostrados no quadro a seguir:

TIPO DE MATERIAL	TALUDES	
	MONTANTE	JUSANTE
Seção Homogênea – Solo bem graduado	1:2,5	1:2
Seção Homogênea – Silte grosso	1:3	1:2,5
Seção Homogênea – Argila ou argila siltosa, altura menor que 15m	1:2,5	1:2
Seção Homogênea – Argila ou argila siltosa, altura maior que 15m	1:3	1:2,5
Areia ou Pedregulho e areia com núcleo de Argila	1:3	1:2,5
Areia ou Pedregulho com cortina de concreto armado	1:2,5	1:2

O engenheiro Paulo Teixeira da Cruz em sua obra 100 Barragens Brasileiras sugere os seguintes taludes preliminares que são mostrados na tabela abaixo:

TIPO DE MATERIAL	MONTANTE	JUSANTE
Solos Compactados	2,5(H) : 1,0(V)	2,0(H) : 1,0(V)
	3,0(H) : 1,0(V)	
Solos Compactados Argilosos	2,0(H) : 1,0(V)	2,0(H) : 1,0(V)
	3,0(H) : 1,0(V)	
Solos Compactados Siltosos	3,5(H) : 1,0(V)	3,0(H) : 1,0(V)
Enrocamentos	1,3(H) : 1,0(V)	1,3(H) : 1,0(V)
	1,6(H) : 1,0(V)	

Com base nos estudos da jazida de empréstimo escolhida para o projeto, o solo é do tipo argiloso do tipo "SC". Portanto, analisando as tabelas apresentadas, juntamente

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 05.4571960
CREA - CE: 56322

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 05.4571960
CREA - CE: 56322



com o material que será usado na construção do barramento, adotou-se preliminarmente os taludes de Montante de 1:2,0 (V:H) e Jusante de 1:2,0 (V:H).




Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 060.4571960
CREA - CE: 56322


Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 060.4571960
CREA - CE: 56322



7. ESTUDOS DE FLUXO PELO MACIÇO

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 0622571960
CREA/TCR: 56322

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 0622571960
CREA/TCR: 56322

7. ESTUDOS DE FLUXO PELO MACIÇO



7.1 Introdução

Com o objetivo de se estimar a linha freática e vazões que atravessam o aterro da Barragem Boa Vista, foram realizadas simulações numéricas de fluxo utilizando-se o programa SEEP/W 2007, o qual, através do Método dos Elementos Finitos (MEF), permite a análise de fluxo permanente em meios estratificados, incorporando efeitos de anisotropia.



A seguir será apresentado o detalhamento do estudo realizado.

7.2 Parâmetros Geotécnicos Adotados

7.2.1 Permeabilidade

A permeabilidade dos corpos consiste em uma propriedade dos corpos de permitirem, com maior ou menor facilidade, o escoamento de água através dos seus poros. Já a permeabilidade dos solos consiste, basicamente, em medir a velocidade de percolação da água em uma determinada amostra, considerando-se em escoamento laminar, considerando-se a temperatura no momento da análise.

O coeficiente de permeabilidade, K , é um índice empregado para estabelecer parâmetros de permeabilidade dos solos. Resumidamente, é um valor que representa a velocidade com que a água atravessa uma amostra. Como este índice é bastante pequeno numericamente, foi convencionado expressar seu resultado em forma de potenciação.

Alguns dos valores típicos presentes na literatura são apresentados no Quadro a seguir.

Quadro 7.1 – Valores típicos do coeficiente de permeabilidade para materiais porosos

Material Poroso	k (m/s)
Argilas	$<10^{-9}$
Siltos	10^{-6} a 10^{-9}
Areias argilosas	10^{-7}
Areias finas	10^{-5}
Areias médias	10^{-4}
Areias grossas	10^{-3}
pedregulhos	$>10^{-3}$

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 0601571960
CREA/SC 56322

Ciro M. Siqueira
Engenheiro Civil
RN: 0601571960
CREA/SC 56322

Tendo como base a avaliação feita em campo dos materiais de empréstimos existentes, no Quadro 7.2 a seguir é apresentado os parâmetros que foram adotados para cada material da barragem.

Quadro 7.2 - Parâmetros de permeabilidade dos materiais

Material	K (m/s)
Solo compactado	10^{-7}
Dreno de areia	10^{-4}
Transição de brita	10^{-3}
Enrocamento	10^{-2}

7.2.2 Influência da Estrutura e da Anisotropia

Quando o solo é compactado no ramo seco, a disposição das partículas (estrutura floculada) permite maior facilidade de passagem de água através dos vazios, se comparada com solo compactado no ramo úmido (estrutura dispersa), para um mesmo índice de vazios. O quadro abaixo mostra evidências experimentais da influência da estrutura.

Quadro 7.3 - Coeficientes de Permeabilidade do Solo Compactado da Barragem de Ilha Solteira (Souza Pinto, 2000)

Umidade de Compactação	Índice de Vazios	Coefficiente de Permeabilidade
0.17	0,71	2×10^{-8} m/s
0.19	0,71	9×10^{-9} m/s
0.21	0,71	5×10^{-9} m/s

Já com relação a anisotropia, muitos solos naturais, assim como solos compactados, têm o coeficiente de permeabilidade na direção horizontal (k_x) maior que o na direção vertical (k_z). Esta anisotropia em relação à permeabilidade se deve à ocorrência de estratificações, e consequente alinhamento de partículas do solo, na direção horizontal durante o processo de formação ou de compactação do material.

Não existe uma concordância quanto a anisotropia de solos compactados. Souza Pinto (2000) cita que coeficientes de permeabilidade na direção horizontal podem atingir valores até 15 vezes maiores do que na vertical. No entanto, Cruz (1998) afirma que o mais comum é encontrar diferenças na ordem de 5 vezes. Massad já cita que a anisotropia pode chegar a cerca de 10 vezes. Em geral, para estudos de fluxos