



Folha de Dados

IDGED:

0090

LOTE:

0929

AUTOR:

SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS – GEONORTE

TÍTULO:

ESTUDO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO COAÇU NO MUNICÍPIO DE EUSÉBIO

SUBTÍTULO:

RELATÓRIO DE ESTUDOS BÁSICOS

NOVEMBRO /95

FOLHA DE DADOS - GED/SRH

TIPO DE DOCUMENTO: Estudo

Identidade GED: 0090

Lote: 00929

Nº de Registro: 96/1096

Autores: SRH/GEONORTE

Programa: _____

Título: Estudo na Bacia Hidrográfica do Riacho Coari no Município de Euzebio

Sub-Título 1: Relatório de estudos físicos

Sub-Título 2: _____

Nº de Páginas: 16 folhas + 1 planta

Volume: _____

Tomo: _____

Editor: GEONORTE

Data de Publicação (mês/ano): novembro/95

Local de Publicação: Fortaleza

Localização da Obra

Tipo de Empreendimento:

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

Bacia: Riacho Coari

Sub-bacia: _____

Municípios: Euzebio

Distrito: _____

Microregião: _____

Estado: Ceará

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ



SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS
DO ESTADO DO CEARÁ - SRH

ESTUDOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO COAÇÚ, NO MUNICÍPIO DE EUSEBIO

RELATÓRIO DE ESTUDOS BÁSICOS

Lote: 00929 - Prep (X) Scan () Index ()
Projeto Nº 0090
Volume 1
Qtd. A4 _____ Qtd. A3 _____
Qtd. A2 _____ Qtd. A1 _____
Qtd. A0 _____ Outros _____



Geonorte

0090

NOVEMBRO/95

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ



SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS
DO ESTADO DO CEARÁ - SRH

**ESTUDOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIACHO COAÇÚ, NO MUNICÍPIO DE EUSEBIO**

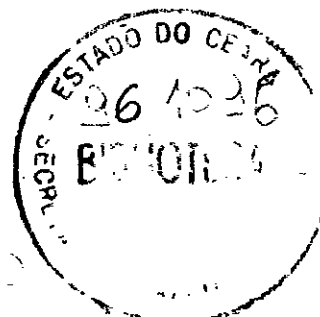
RELATÓRIO DE ESTUDOS BÁSICOS



Geonorte

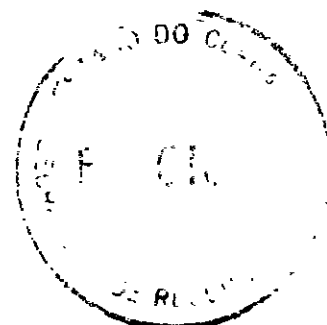
000003

NOVEMBRO/95





INDICE





INDICE

1) APRESENTAÇÃO	...	3
2) LOCALIZAÇÃO E ACESSO.	..	5
3) ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS	..	8
3.1 Caracterização Climatológica	..	9
3 1 1 Principais Parâmetros	9
3 1 2 Balanço Hídrico	..	16
3 1 3 Classificação do Clima	17
3.2 Estudos Pluviométricos	17
3 2.1 Dados Utilizados	..	17
3 2 2 Caracterização do Regime Pluviométrico	..	18
4) DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO DO VERTEDOURO	...	22
4.1 Metodologia	..	23
4 1 1 Precipitação	..	24
4 1 2 Precipitação Efetiva..	..	25
4 1 3 Hidrograma Unitário - SCS.	..	32
4.2 Dimensionamento do Vertedouro	..	33
4.3 Definição da Vazão Regularizada e da Eficiência do Reservatório	..	36
4 3 1 Metodologia	..	35
4 3 2 Resultados	..	37
5) ESCOLHA DO EIXO BARRÁVEL	..	41
6) RECOMENDAÇÕES	..	45



1. APRESENTAÇÃO



1. APRESENTAÇÃO

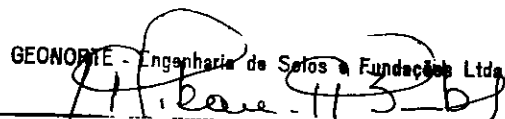
Estamos apresentando o relatório dos estudos de aproveitamento da Bacia Hidrográfica do Rio Coaçu, que atravessa os municípios de Pacajus, Eusébio e Fortaleza, Os estudos realizados são objeto de contrato N° 044/95 e ordem de serviço N° 011/95

Esses estudos foram realizados com a finalidade de localizar um ponto barrável no terço superior da bacia do Rio Coaçu tal que o seu aproveitamento viesse a contribuir para a melhoria econômica e social das pessoas que habitam essa região

A Bacia do Rio Coaçu possui um lago natural que é Lagoa do Precatuba de grande importância na região, servindo como fonte de pesca e área de lazer, entretanto no período de estiagem, agosto a dezembro, o nível desta lagoa baixa demasiadamente A existência de uma barragem a montante com uma certa desgarga regularizável serviria de realimentação da lagoa.

Estes estudos são apresentados a seguir abordando os seguintes tópicos

- Localização e Acesso,
- Estudos Hidrológicos,
- Escolha do Barramento;
- Recomendações,

GEONORTE - Engenharia de Solos e Fundações Ltda.

JOSÉ DE RIBAMAR PINHEIRO BARBOSA
SÓCIO



2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO



2 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O acesso ao local do ponto barrável escolhido é feito inicialmente pela CE-040, partindo-se de messejana e percorrendo nesta rodovia cerca de 8 Km em seguida toma-se uma estrada revestida em pedra tosca por cerca de 1,5 Km e finalmente toma-se uma estrada carroçavel por mais 2,0 km chegando-se ao ponto barrável

Na figura 1 apresentada a seguir é mostrado o mapa de situação indicando a localização e acesso



5. ESCOLHA DO EIXO BARRÁVEL

A escolha do barramento foi feita com base em análise feita, inicialmente, na carta cartográfica do INCRA na escala de 1:20,000, e em seguida através de visitas aos locais selecionados. Dois pontos foram escolhidos, um deles foi descartado por se tratar de um local onde o eixo barrável seria coincidente com o traçado da BR-116 e a execução passaria pela construção de um aterro barragem, sendo que o processo para viabilizar este aterro é de difícil operação por vários motivos entre eles podemos citar os seguintes.

- a) O aterro teria que ser executado numa faixa de domínio federal, no caso DNER,
- b) Este trecho Fortaleza/Pacajus deverá ser duplicado nos próximos anos,
- c) Um corpo estradal trabalhando como aterro barrável é sempre um risco ao comportamento do pavimento e essa artéria sendo a BR-116, com certeza a obra não seria aceita pelo DNER,

Por essa razão a Geonorte descartou esse eixo

A opção escolhida é apresentada em planta no desenho nº 2. Pela análise feita é possível construir uma barragem com soleira por volta do cota 17,00 metros armazenando dez milhões de metros cúbicos. Na figura nº 3 é apresentada a curva cota x volume da bacia

Os estudos hidrológicos realizados indicam que a barragem tem capacidade de regularizar uma vazão de 80 l/s o que equivale a um volume anual de $2,49 \times 10^6 \text{ m}^3$



3. ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS



3. ESTUDOS HIDROCLIMATOLÓGICOS

3.1 - Caracterização Climatológica

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

A bacia do Rio Coaçu, pertencente ao sistema das Bacias Metropolitanas, é detentora de uma área de drenagem de 211km², sendo de 71,7 km² a área da bacia hidrográfica do barramento. Devido a inexistência de estação hidroclimatológica na referida bacia utilizou-se como estação representativa a de Fortaleza, com denominação homônima de sua localidade (INEMET, 1991)¹

3.1.1 - Principais Parâmetros

3 1 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)

¹ INEMET, 1991 INVENTÁRIO DE ESTAÇÕES HIDROCLIMATOLÓGICAS



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

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 I 1 e figura I 1

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

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
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
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
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

FONTE INEMET (1991)

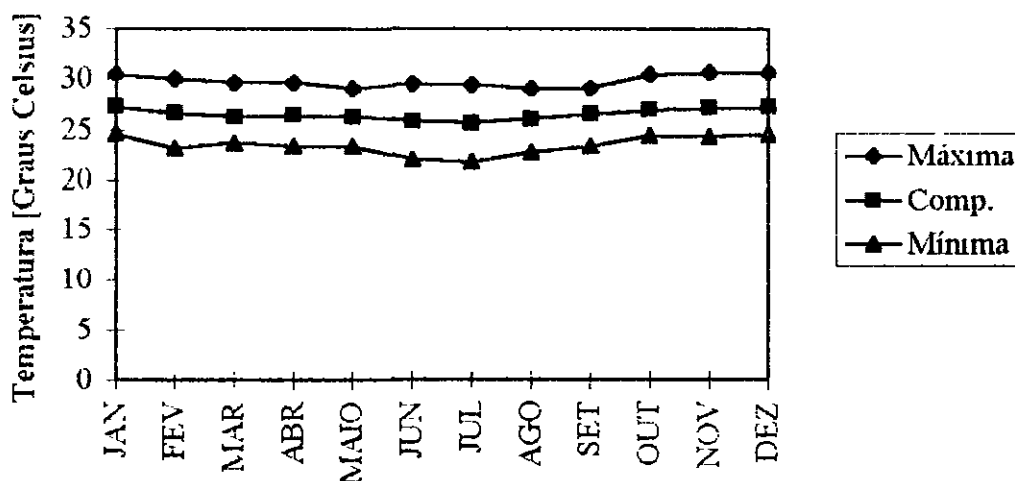


Figura 1 1-Temperaturas Máximas, Mínimas e Médias Compensadas na estação de Fortaleza

3 1.1 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 1 2

Quadro 1 2 - Umidade Relativa na estação de Fortaleza

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

FONTE INEMET (1991)



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 unidade é resultante da homogeneidade pluviométrica, além das pequenas oscilações dos demais parâmetros influentes.

3 1 1 3 - Insolação Média

O quadro 13 e a figura 13 mostram, respectivamente, o número de horas de exposição no local da estação de Fortaleza e sua distribuição mensal. Em termos atuais, 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 devido ser o trimestre mais chuvoso, caracterizando um maior albedo.

Quadro 13 - Insolação Média na estação de Fortaleza

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

FONTE: INEMET (1991)

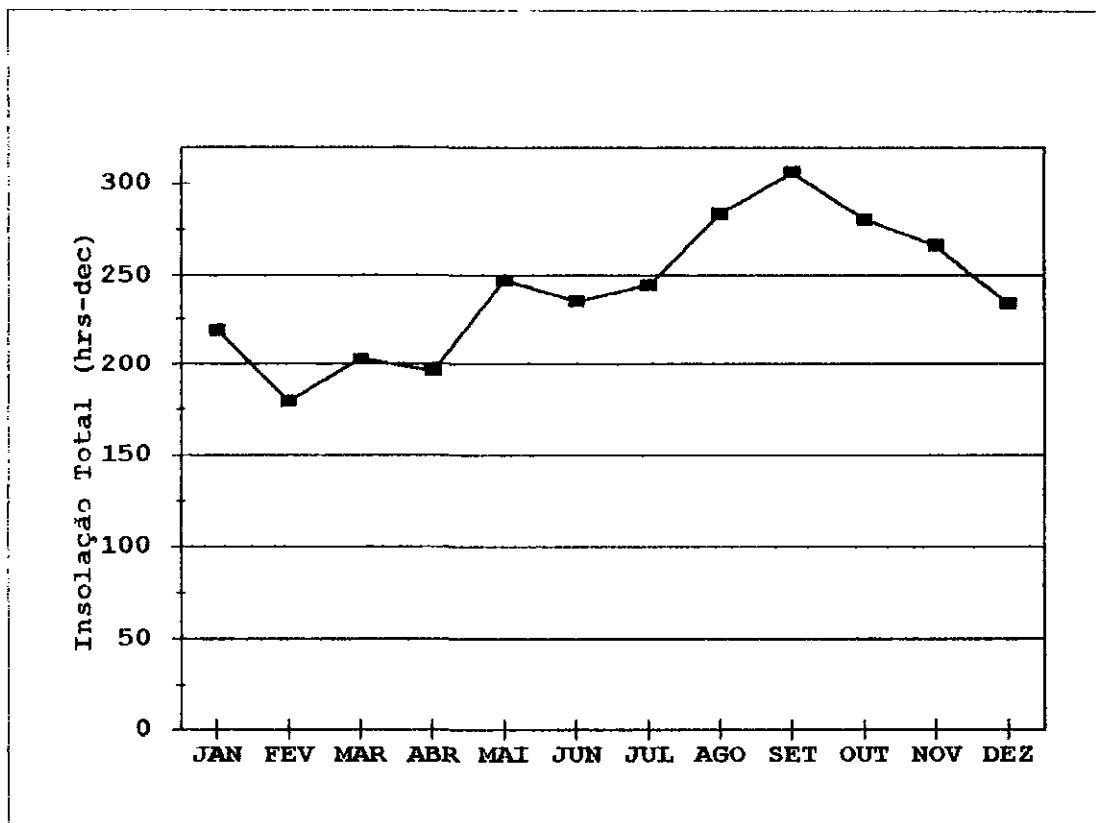


Figura 1-3-Insolação Média na estação de Fortaleza

3 1 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.

Quadro 1-4 - Velocidade média dos ventos (m/s)

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
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

FONTE: PERH



A direção predominante está dentro do quadrante Este/Sudeste

3 1 1 5 - Evaporação Média

A evaporação anual observada em tanque-tipo classe "A" é de 1469 mm, distribuída ao longo dos meses segundo o quadro I 4 e figura I 4

Quadro I.4 - Evaporação Média na estação de Fortaleza

Media	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
mm	120	96	72	68	85	95	118	152	168	174	168	154

FONTE. INEMET (1991)

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 0,70 e 0,80

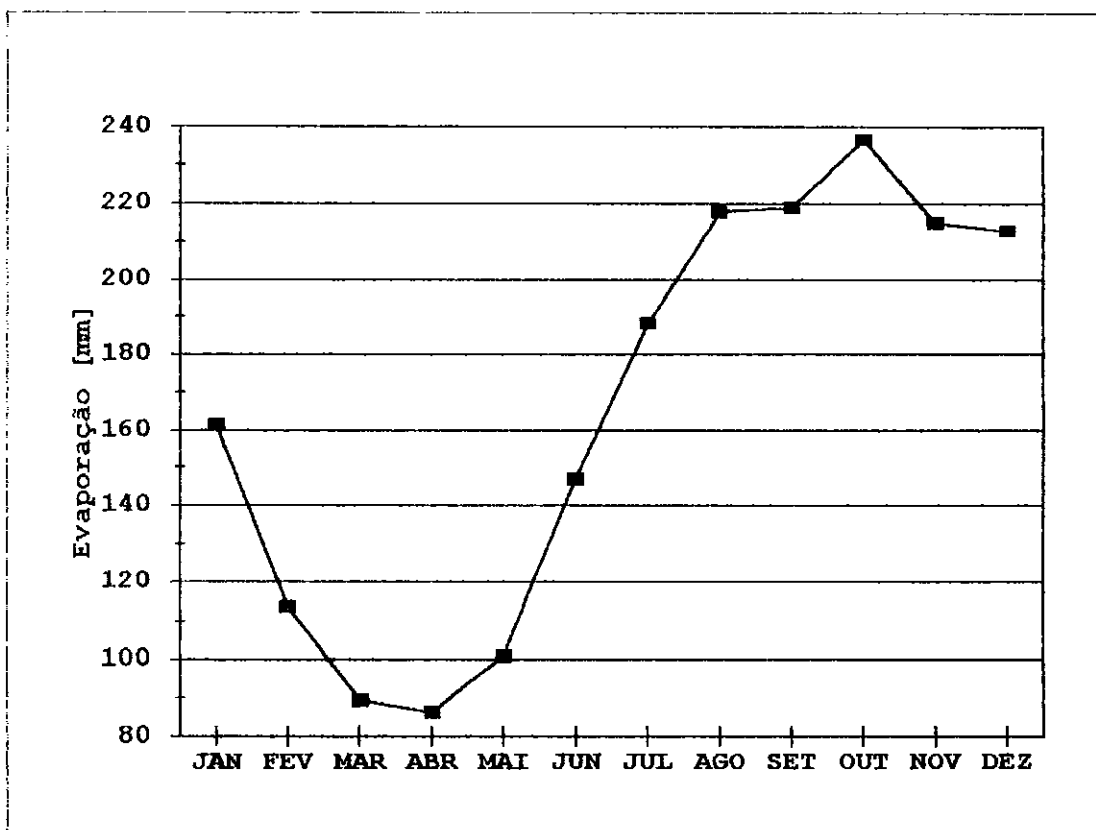


Figura I 4-Evaporação Média na estação de Fortaleza

3 1.1 6 - Evapotranspiração

O quadro I.5 apresenta a evapotranspiração potencial mensal obtida segundo Thornthwaite e Mather, totalizando 1710 mm. Percebe-se, como característica, o déficit hídrico em praticamente todo o ano, com exceção dos meses de março e abril. Este fato demonstra como é conhecido qualitativamente para as regiões semi-áridas, a necessidade da aplicação artificial de água.



Quadro I 5 - Evapotranspiração Potencial (Thorntwaite & Mather) na estação de Fortaleza

Média	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
mm	160	138	141	126	123	115	123	141	151	164	161	167

FONTE PERH (1990)

3.1.2 - Balanço Hídrico

O princípio da conservação da massa a 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 Thorntwaite & Mather em 1955, e tem sido utilizado amplamente quando não se dispõe de muitos dados para um estudo mais apurado

A região drenada pelo rio Coaçu foi considerada como homogênea da região de Fortaleza que possui os seguintes índices obtidos a partir do balanço hídrico formulado pelo PERH(1990)

- Índice de aridez. 0
- Índice de umidade 45
- Índice de efetividade -27



3.1.3 - Classificação do Clima

3.1.3.1 - Classificação segundo Thornthwaite

Segundo esta classificação, o elemento determinante do clima é a evapotranspiração, além da característica pluviométrica e térmica. Os dados para a área de estudo, mostram um clima Semi-árido do tipo DdA'a'

3.2 - 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.

3.2.1 - Dados Utilizados

A série pluviométrica bruta utilizada neste estudo foi inicialmente tratada pelo método do Vetor Regional (HIEZ, 1978), destinado à identificação de inconsistências nas séries históricas. Estas inconsistências podem ser originadas por erros de observação, podendo tais erros ocorrerem sistematicamente ou isoladamente em um certo período.



A bacia do Coaçu não apresenta nenhum posto pluviométrico da SUDENE ou DNAEE, tendo como postos de interesse na caracterização do regime de chuva sobre a bacia os descritos no Quadro II 1. Destes postos foi escolhido o posto de como o representativo da região do barramento devido a sua maior proximidade espacial desta

Apenas um posto foi utilizado neste estudo, uma vez que este é o mais próximo da área de interesse, bacia do rio Coaçu, além de estar em uma altitude que representa melhor as características da área de estudo. O posto escolhido como o que representa a região é o posto de Aquiraz(2873824)

Quadro II 1 - Postos utilizados e Consistidos pelo Vetor regional

POSTO	CÓDIGO	COORDENADAS		ALTITUDE m
		LATITUDE	LONGITUDE	
Fortaleza (Central)	2872496	0.3044'	28032'	26
Mondubim	2872684	03048'	28035'	30

Fonte DNAEE (1983)

3.2.2 - Caracterização do Regime Pluviométrico

3.2.2.1 - Nivel Anual

As isoietas, linhas de mesma precipitação média, e iso-cv's (coeficientes de variação) estão apresentadas nas figuras II 1 e II 2, que mostram a região das bacias do do norte do estado e onde se acha assinalada a área do estudo. A área de estudo apresenta, segundo análise destas figuras, média pluviométrica entre 1000 e 1400 mm com um coeficiente de variação em torno de 0,40.



Uma análise frequencial foi realizada para o posto de Fortaleza(central), sendo escolhida a distribuição Log-Pearson III como a de melhor ajuste, sendo seus parâmetros estimados pelo método dos momentos O quadro II.2 resume esta análise de frequência

Quadro II 2 - Análise de Frequência dos Totais Anuais

Probabilidade de Ocorrer Evento Menor que o nomeado (%)					

1	5	10	20	50	99
640	752	872	929	1294	2807

3 2 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 60% do total anual precipita-se em apenas três meses do ano, no trimestre Fevereiro/Março/Abril Neste trimestre o mês de março corresponde ao mais chuvoso, com cerca de 25% do total anual

3.2.2.3 - 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, tendo a análise de frequência para as maiores precipitações diárias apresentado os valores como descrito na tabela a seguir.

Quadro II 2 - Análise de Frequência para as maiores precipitações diárias

Tempo de Retorno (Anos)					
1	10	20	30	50	100
111	133	155	168	184	207

3.2.2.4 - 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.



A proximidade da região do barramento de Fortaleza levaram a adotar a curva intensidade-duração-freqüência desta cidade como a representativa da região do barramento. Esta regionalização é mais razoável, neste caso, que a adoção do método das isozonas do Prof. Torga devido a proximidade da referida região de interesse e Fortaleza.

O hietograma aconselhado baseia-se na curva intensidade-duração-freqüência de Fortaleza, a saber

$$i = \frac{528.076 T^{0.148}}{(t + 6)^{0.62}}, \text{ para } t \leq 120 \text{ min} \quad i = \frac{54.50 T^{0.194}}{(t + 1)^{0.86}}, \text{ para } t > 120 \text{ min}$$

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



4. DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO DO VERTEDOURO



4. DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO DO VERTEDOURO

4.1 Metodologia

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 cheias em cada subacia e por fim a propagação da cheia no canal. A ferramenta utilizada para a implementação desta metodologia foi o programa HEC-1²

As relações chuva-deflúvio para a bacia do Rio Coaçu foram estabelecidas utilizando-se o modelo HEC-1, um modelo desenhado 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 correspondente a um período de retorno (T_r) de 500 anos e verificado para uma cheia de 1000 anos.

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 Coaçu, diante dos dados disponíveis e possíveis de serem levantados em tempo hábil, 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 da Onda Cinemática para a propagação em canais

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



4.1.1. Precipitação

A curva intensidade duração e frequência utilizada foi a da chuva de Fortaleza na forma descrita nos Estudos Hidroclimatológicos

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

O hietograma adotado baseia-se na curva intensidade-duração-freqüência definido para a região nos estudos climatológicos

A partir daqueles estudos calcula-se a precipitação associada aos tempos de retornos já definidos para as durações de 5 min, 15 min, 60 min, 2 h, 3 h, 6 h, 12 h e 24h

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

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

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

onde P_n é a precipitação para a duração de n minutos



A precipitação pontual é ajustada à área da sub-bacia usando a seguinte equação

$$F = 1 - BV (1 - EXP(-0,015 A))$$

onde F é o coeficiente de ajuste da precipitação pontual, BV é a máxima redução da chuva pontual, e A é a área da sub-bacia em milhas quadradas. Os fatores de conversão de chuva pontual estão dados no quadro 2

Quadro 2 - Fatores de conversão de chuva pontual

Duração (h)	BV
0,5	0,480
1	0,350
3	0,220
6	0,170
24	0,090
48	0,068
96	0,055
168	0,049
240	0,044

HEC-1 (1990)

4.1.2. 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 e considerada perda, sendo o restante, considerado precipitação efetiva



O cálculo das perdas de precipitação podem ser usadas nos componentes do modelo HEC-1. hidrograma unitário e onda cinemática. No caso do hidrograma unitário, estas perdas são consideradas uniformemente distribuídas sobre a bacia (ou sub-bacia) Por outro lado, no caso da onda cinemática, estas perdas podem ser especificadas para cada plano de escoamento, sendo assumidas uniformemente distribuídas sobre estes planos.

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

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



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

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

onde CN varia de 30 a 100 (quadros 3-4). CN foi tabelado para diferentes tipos de solos e cobertura. Os quadros 3 e 4 apresentam CNs 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**

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

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

Alternativamente, os CNs para estas condições podem ser obtidos, a partir da condição normal (AMC II), utilizando-se o quadro 5.

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 e calculado como a diferença entre o excesso acumulado no fim do presente período e o acumulado do período anterior

Quadro 3 - CN PARA ÁREAS URBANAS¹

DESCRIÇÃO DA COBERTURA		CN P/ GRUPOS DE SOLOS HIDROLÓGICOS			
Tipo de Cobertura e Condição Hidrológica	% Média de Áreas IMP ²	A	B	C	D
		Áreas urbanas completamente desenvolvidas (vegetação condicionada)			
Espaço aberto (parques públicos, campos de golfe, cemiterios, etc)					
3		68	79	86	89
condição pobre (cobertura de grama < 50 %)		49	69	79	84
condição média (cobertura de grama de 50-75 %)		39	61	74	80
condição boa (cobert de grama >75 %)					
Áreas impermeáveis					
lotes de parques pavimentados, telhados, viadutos, etc					
		98	98	98	98
Ruas e estradas asfaltados e com drenagem de águas pluviais					
		98	98	98	98
Pavimentada, valas					
		83	89	92	93
Carroçal					
		76	85	89	91
Terra					
		72	82	87	89
Distritos urbanos					
Comerciais e de escritórios					
	85	89	92	94	95
Industriais					
	72	81	88	91	93
Distritos residenciais por tamanho de lote médio					
< 500 m ² (casas de cidade)					
	65	77	85	90	92
1000 m ²					
	38	61	75	83	87
1300 m ²					
	30	57	72	81	86
2000 m ²					
	25	54	70	80	85
4000 m ²					
	20	51	68	79	84
8000 m ²					
	12	46	65	77	82
Áreas urbanas em desenvolvimento					
Áreas sistematizadas recentemente (somente áreas permeáveis, nenhuma vegetação)					
		77	86	91	94
Terras ociosas (CNs são determinados usando tipos de cobertura similares a aqueles do quadro 4)					

1 Condição de umidade antecedente média e $I_a = 0,2 S$

2 A % de área impermeável média apresentadas são usadas para desenvolver os CNs compostos. Outras suposições: áreas impermeáveis estão diretamente conectadas ao sistema de drenagem, áreas impermeáveis têm um CN = 98, e áreas permeáveis são consideradas equivalentes ao espaço aberto em boa condição hidrológica.

3 CNs apresentados são equivalentes a aqueles de pastos. CNs compostos podem ser calculados para outras combinações de tipo de cobertura p/ espaço aberto.

Quadro 4 - CN PARA OUTRAS TERRAS AGRÍCOLAS¹

DESCRIÇÃO DA COBERTURA		CN P/ GRUPOS DE SOLOS HIDROLÓGICOS					
		A	B	C	D		
Tipo de Cobertura e Condição Hidrológica	Condição Hidrológica	A	B	C	D		
		Pastagens ou forragens ²	C	60	72	81	84
		C&T	57	70	78	89	
		Pobre	68	79	86	89	
		Média	49	69	79	84	
Boa	39	61	74	80			
Campos permanentes, não usados para pasto e geralmente cortados para feno	---	30	58	71	78		
Mato - capim com mato sendo o elemento principal ³	Pobre	48	67	77	83		
	Média	35	56	70	77		
	Boa	304	48	65	73		
Florestas - combinação de gramado (pomar ou fazenda de árvores) ⁵	Pobre	57	73	82	86		
	Média	43	65	76	82		
	Boa	32	58	72	79		
Florestas ⁶	Pobre	45	66	77	83		
	Média	36	60	73	79		
	Boa	304	55	70	77		
Locais de fazenda-construções, veredas, estradas, e lotes circunvizinhos	---	59	74	82	86		

1 Condição de umidade antecedente e $I_a = 0,2 S$

2 Pobre menos do que 50% da cobertura do solo em pastagem pesada Média 50-75% de cobertura do solo e sem pastagem pesada Boa, mais do que 75% de cobertura do solo e ligeiramente ou somente ocasionalmente com pastagem de animais

3 Pobre menos do que 50% de cobertura do solo Média 50-75% de cobertura do solo Boa mais do que 75% de cobertura do solo

4 Curva numero atual e menor do que 30, use CN = 30 para cálculos de escoamento

5 CNs apresentados foram calculados para áreas com 50% destinado ao crescimento de árvores e 50% de cobertura de grama (pastagem).

6 Pobre Adubo de floresta, pequenas árvores, e mato são destruídos pela pastagem pesada de animais ou queimadas regulares Média. Árvores em crescimento são roçadas mas não queimadas, e algum adubo de floresta cobre o solo Boa Árvores em crescimento são protegidas da roçagem, e adequados adubo e mato cobrem o solo



**Quadro 5 - COEFICIENTES CURVA-NÚMERO CORRESPONDENTES
ÀS TRÊS CONDIÇÕES DE DE UMIDADE ANTECEDENTE (AMC)**

AMC II	AMC I	AMC III	AMC II	AMC I	AMC III
100	100	100	60	40	78
99	97	100	59	39	77
98	94	99	58	38	76
97	91	99	57	37	75
96	89	99	56	36	75
95	87	98	55	35	74
94	85	98	54	34	73
93	83	98	53	33	72
92	81	97	52	32	71
91	80	97	51	31	70
90	78	96	50	31	70
89	76	96	49	30	69
88	75	95	48	29	68
87	73	95	47	28	67
86	72	94	46	27	66
85	70	94	45	26	65
84	68	93	44	25	64
83	67	93	43	25	63
82	66	92	42	24	62
81	64	92	41	23	61
80	63	91	40	22	60
79	62	91	39	21	59
78	60	90	38	21	58
77	59	89	37	20	57
76	58	89	36	19	56
75	57	88	35	18	55
74	55	88	34	18	54
73	54	87	33	17	53
72	53	86	32	16	52
71	52	86	31	16	51
70	51	85	30	15	50
69	50	84			
68	48	84			
67	47	83			
66	46	82	25	12	43
65	45	82	20	9	37
64	44	81	15	6	30
63	43	80	10	4	22
62	42	79	5	2	13
61	41	78	0	0	0



4.1.3 - Hidrograma Unitário - SCS

A técnica do hidrograma unitário é usada para transformar a precipitação efetiva em escoamento superficial de uma sub-bacia. Este método foi escolhido por ter sido idealizado para bacias de áreas entre 2,5 e 1000 km², e por ser construído exclusivamente a partir de informações hidrológicas. Além disto, este modelo necessita apenas de um parâmetro, o T_{LAG} . Este parâmetro, T_{LAG} , é igual à distância (*lag*) entre o centro de massa do excesso de chuva e o pico do hidrograma unitário. A vazão de pico e o tempo de pico são calculados por

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

onde Q_p = é a vazão de pico (m³/s) e t_p = tempo de pico do hidrograma (h)

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

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

onde T_c = é o tempo de concentração da sub-bacia. O HEC-1 sugere que $Dt \leq 0,29 T_{LAG}$. Para cálculo do hidrograma de projeto por esta metodologia, é necessário de uma estimativa do tempo de concentração de cada sub-bacia. Estes tempos de concentração foram avaliados através da aplicação do método da onda cinemática.



4.2 Dimensionamento do vertedouro

O vertedouro é uma obra fundamental de segurança do barramento, consistindo o seu dimensionamento na determinação de suas dimensões a partir de uma simulação do reservatório submetido a um evento extremo

A) Metodologia Adotada

A metodologia adotada nesta verificação, devido a falta de dados fluviométricos, foi a de transformação de chuva em deflúvio na forma que segue.

i) Determinação da Chuva do Projeto

Utilizou-se a equação de chuvas intensas de Fortaleza como descrito nos estudos Hidroclimatológicos

ii) Definição do CN

Devido a região caracterizar-se segundo o PERH, por solos hidráulicamente dos tipos "B" e "C"

iii) Hietograma de Projeto

Utilizou-se como hietograma triangular como o de projeto, obtido automaticamente pelo programa HEC1 Implementou-se através do referido programa uma transformação da chuva pontual em chuva sobre uma área

**iv) Transformação de Chuva em Deflúvio**

Utilizou-se o método do hidrograma unitário do SCS.

v) Tempo de concentração na Bacia

O tempo de concentração foi calculado a partir da expressão:

$$t_c = 57 \left[\frac{L^3}{H} \right]^{0,385}$$

onde.

t_c - tempo de concentração (min)

L - extensão do Talveg (Km)

H - Máximo desnível da Bacia (m)

vi) Tempo de Recorrência do Evento

Definiu-se que o tempo de recorrência do evento é de 500 anos, associado um risco de falha de 9,5% em uma vida útil da obra de 50 anos

B) RESULTADOS OBTIDOS

As pequenas dimensões do reservatório indicam que o amortecimento da onda de cheia no mesmo é pequena devendo-se dimensionar o mesmo com a cheia afluyente. O pico desta cheia foi de 359 m³/s

4.3 Definição da vazão Regularizada e da Eficiência do Reservatório

O presente tópico trata da obtenção da curva capacidade do reservatório versus vazão regularizada. Essa curva, associada a uma outra que liga capacidade a custo, poderá fornecer elementos para a tomada de decisão sobre o dimensionamento do reservatório. A metodologia utilizada está descrita na seção seguinte



4.3.1 Metodologia

As disponibilidades hídricas do Açude Coaçu foram calculadas com base no método de campos (1) Esse método tem como suporte teórico a Teoria Estocástica dos Reservatórios ou Teoria do Armazenamento de Moran Ele apresenta como novidade na teoria a introdução de uma matriz de evaporação para levar em conta as perdas devidas a esse fenômeno

As etapas do cálculo da probabilidade do esvaziamento do reservatório para um dado tamanho é uma dada retirada são descritas a seguir

1) Dividir o volume total do reservatório, K , por 20, definindo 21 estados que podem ser atingidos pela reserva A representação do espaço de definição desses estados estão apresentadas na figura 4.1 e na Tabela 4.1

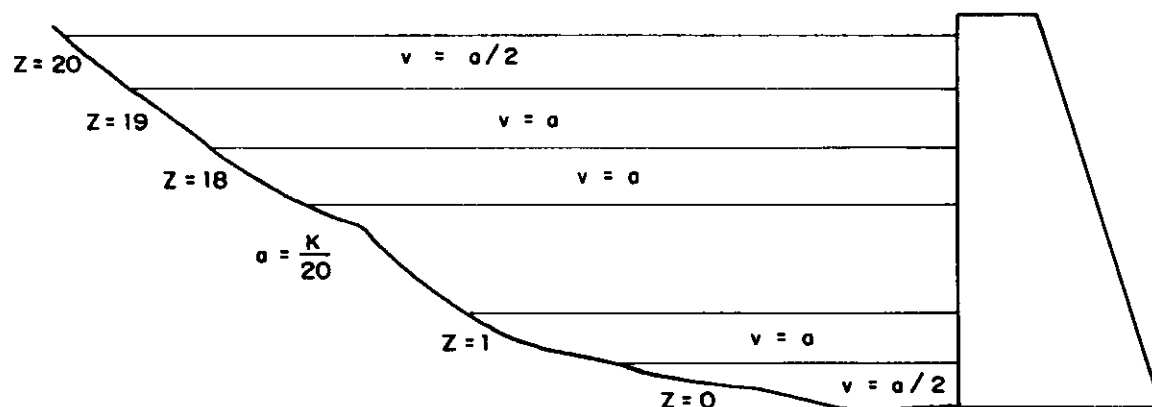


Figura 4.1 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO ESPAÇO DE DEFINIÇÃO DOS ESTADOS DE RESERVA.

(1) Campos J N B "A procedure for Reservoir Sizing on Intermittent River unders High Evaporation Rate" Tese de Doutorado - Universidade do Colorado, Fort Collins, Colorado em 1987



2) Calcular a matriz de transição de probabilidades devido aos deflúvios anuais (W) Supõe-se que os deflúvios seguem uma lei de probabilidade mista com uma massa de probabilidade para $X = 0$ e uma densidade Gamma - II para $X > 0$

TABELA 4.1 - Limites, em volume, dos estados da reserva

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

3) Calcular a matriz de transição de probabilidades ocasionais pela metade da evaporação [E] Supõe-se que a relação cota x área x volume obedece as fórmulas

$$V = \alpha h^3$$

$$A = 3\alpha h^2$$

h = altura d'água no reservatório,

V = volume acumulado à altura h,

A = área do espelho d'água à altura h,

α = coeficiente de fórmula da bacia hidráulica obtido por regressão linear

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 probabilidades anual através do produto das matrizes parciais

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



6) Formar o sistema de equações para determinar a probabilidade do reservatório esvaziar em condições de equilíbrio ("steady state") Esse sistema é o seguinte:

$$\begin{aligned} q_{00} \pi_0 + q_{01} \pi_1 + \dots + q_{0n} &= \pi_0 \\ q_{10} \pi_0 + q_{11} \pi_1 + \dots + q_{1n} \pi_n &= \pi_1 \end{aligned}$$

$$q_{n0} \pi_0 + q_{n1} \pi_1 + \dots + q_{nn} \pi_n = \pi_n$$

Como o sistema acima é não homogêneo, uma das equações deve ser substituída pela equação

$$\pi_0 + \pi_1 + \pi_2 + \dots + \pi_n = 1$$

7) Resolver o sistema de equações acima e calcular π_0 , que representa a probabilidade, em condições de equilíbrio, do reservatório estar vazio

A metodologia acima descrita foi resumida de forma inteligente pelo Prof Nilson Campos em Diagramas Triangulares que através dos adimensionais Fator de Forma e Fator de Evaporação estima a vazão regularizada, sangrada e evaporada em um reservatório, estes diagramas representam a simulação de um reservatório com os referidos adimensionais submetidos a uma afluência de uma série sintética de 2000anos

4.3.2 Resultados

A metodologia acima descrita , "Diagrama Triangular de Regularização" do Prof Nilson Campos, foi aplicada para o reservatório, predimensionado, por imposições topográficas, para armazenar um volume 10 hm³

Os parâmetros do modelo obtidos são apresentados em seguida



Fator de Forma (α) = 7587

Fator de Evaporação (f_E) = 0,29

Fator de Capacidade (f_k) = 0,76

Volume Afluyente Anual = 13,12 hm³

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV) = 1,2

Estes valores indicam que o reservatorio e eficiente e sangra muito.
O volume e de 65% eo liberado e de 19%, o que indica uma vazão liberada de 80 l/s ou 2,49. hm³ anuais.



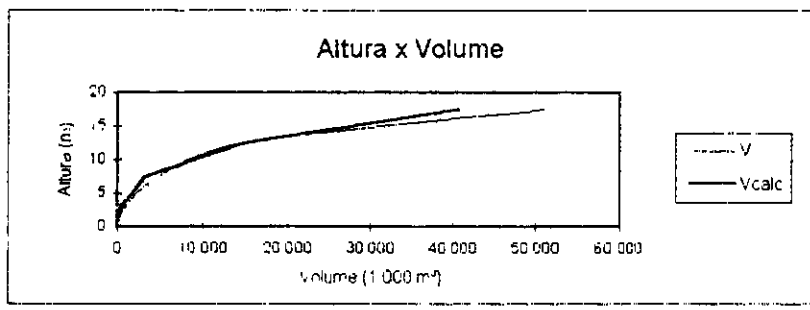
Plan1

AQUIRAZ

1) CALCULO DO FATOR DE FORMA

COTA DO FUNDO 3
 alfa reg 7 587
 alfa 9 132

COTA	H(ALTURA)	V(VOLUME)	Vcalc	ABS(Vcalc-V)/V	(Vcalc-V)^2
2,5	0	0	0	0,000	0,000E+00
5	2,5	572 500	118 542	0,793	2,061E+11
10	7,5	4 712 500	3 200 623	0,321	2,286E+12
15	12,5	14 487 500	14 817 697	0,023	1,090E+11
20	17,5	51 002 500	40 659 761	0,203	0 000E+00
			soma	1,339	2,601E+12





ii)EVAPORAÇÃO MÉDIA MENSAL (TANQUE CLASSE "A")

POSTO FORTALEZA

mês	evaporação
janeiro	149
fevereiro	109
março	85
abril	74
maio	85
junho	95
julho	123
agosto	173
setembro	193
outubro	197
novembro	185
dezembro	181

soma do periodo seco 1147 mm
evap period seco 1,147 m

iii)Volume afluyente anual

PLANO ESTADUAL

LAMINA ESC ANUAL 183 mm
AREA 71,7 Km2

Va 13121100 m3 13,12 hm3

ii)CALCULO DO FATOR DE EVAPORAÇÃO

fe PERH
 0,2866673

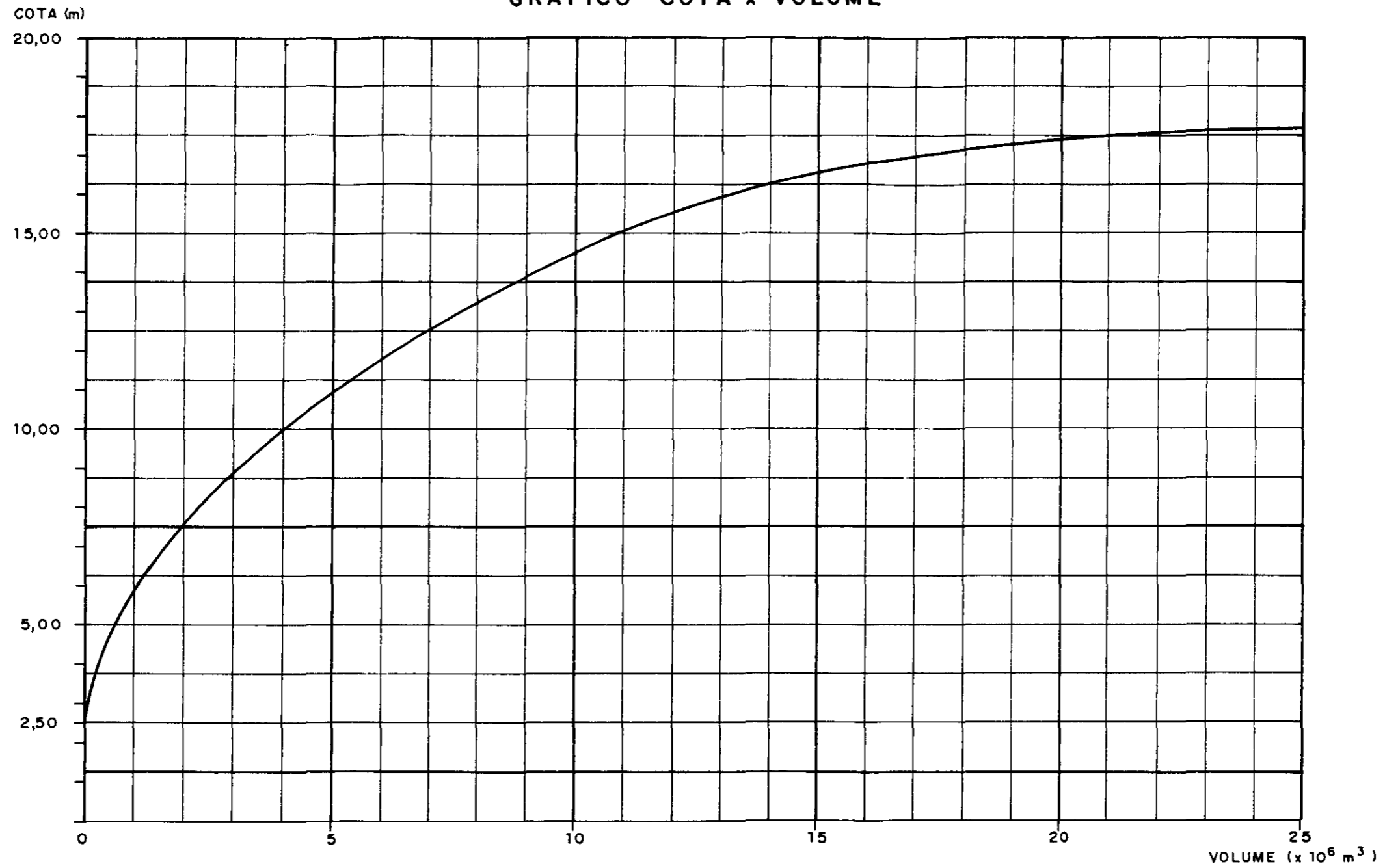
iii) CÁLCULO DO fK

volume do reservatório 10000000 m3 10,00 hm3
 PERH
 fK 0,76213122



5. ESCOLHA DO EIXO BARRÁVEL

GRÁFICO COTA x VOLUME



COTAS (m)	AREA (m ²)	AREA ACUMULADA (m ²)	H/2	VOLUME (m ³)
2.50	—	—	—	—
5.00	458.000	458.000	1.25	572.500
10.00	1.980.000	1.856.000	2.50	4.140.000
15.00	2.712.000	4.368.000	2.50	10.920.000
20.00	11.894.000	16.262.000	2.50	40.655.000

000047

SRH - SECRETARIA DE RECURSOS HIDRICOS T-204/95

EIXO DA BACIA DO RIACHO COACU - AQUIRAZ / CE. Geonorte

GRAFICO COTA x VOLUME DES. - 03



6. RECOMENDAÇÕES

**6. RECOMENDAÇÕES**

A construção de reservatório no Ceara é de forma geral sempre recomendada. Entretanto nesse caso convém resaltar que a área de implantação de barragem é de propriedade do Sr Ivens Dias Branco que segundo informações tem plano de aproveitar essa área construindo uma barragem talvez de porte menor para servir de abastecimento e lazer para os moradores de um conjunto residencial de sua propriedade que será construído para os funcionários de sua fábrica.