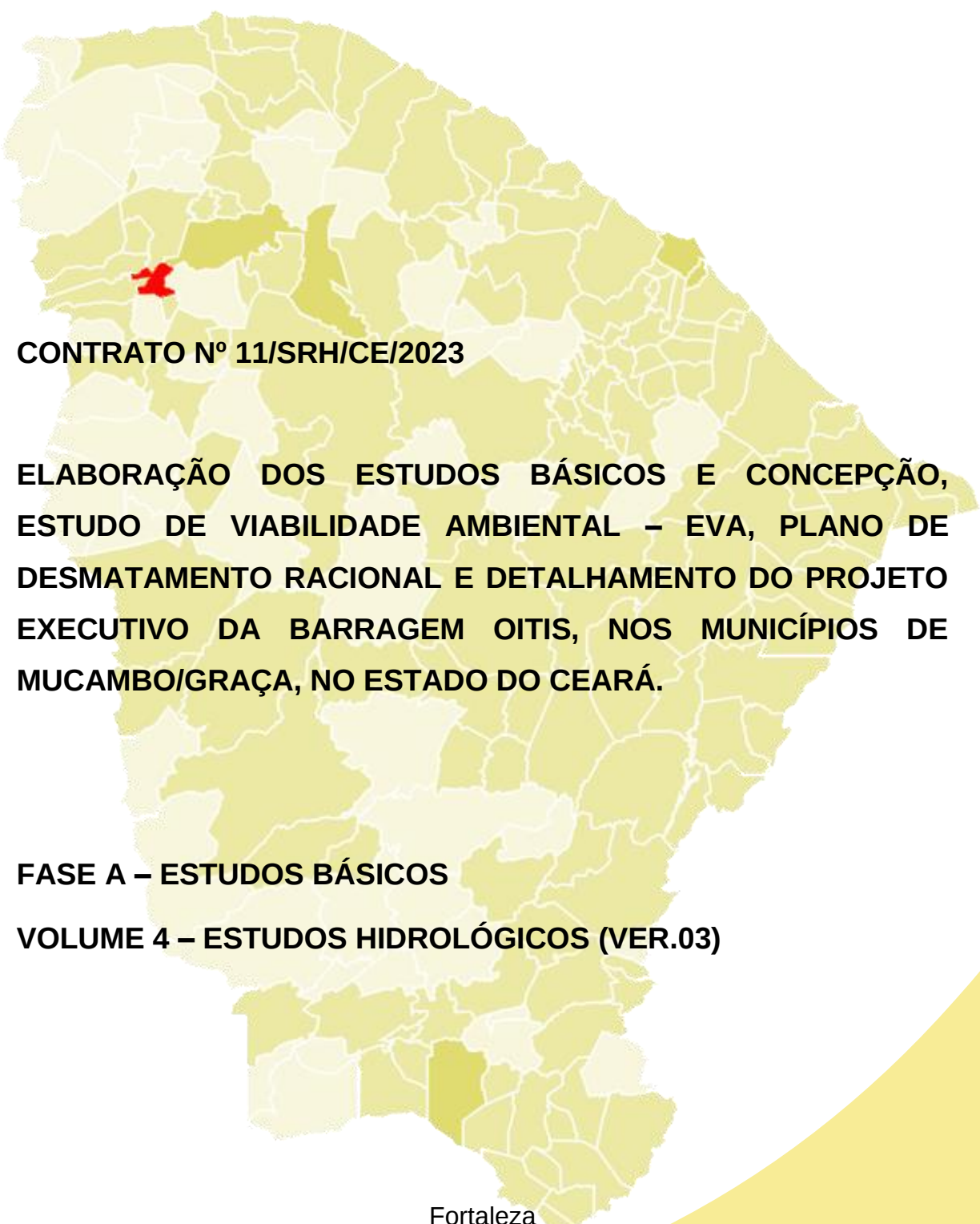




**CONTRATO Nº 11/SRH/CE/2023**

**ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS BÁSICOS E CONCEPÇÃO, ESTUDO DE VIABILIDADE AMBIENTAL – EVA, PLANO DE DESMATAMENTO RACIONAL E DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM OITIS, NOS MUNICÍPIOS DE MUCAMBO/GRAÇA, NO ESTADO DO CEARÁ.**

**FASE A – ESTUDOS BÁSICOS**

**VOLUME 4 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS (VER.03)**

Fortaleza

**Setembro/2024**

## ÍNDICE

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| APRESENTAÇÃO .....                                                                                                    | 5  |
| 1.0 – INTRODUÇÃO .....                                                                                                | 6  |
| 2.0 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO .....                                                                                      | 6  |
| 3.0 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA.....                                                                | 8  |
| 3.1 – Índices de Forma da Bacia .....                                                                                 | 9  |
| 4.0 – ESTUDOS HIDROCLIMÁTICOS .....                                                                                   | 11 |
| 4.1 – Principais Parâmetros.....                                                                                      | 11 |
| 4.1.1 – Temperatura .....                                                                                             | 11 |
| 4.1.2 – Umidade Relativa .....                                                                                        | 12 |
| 4.1.3 – Insolação .....                                                                                               | 13 |
| 4.1.4 – Ventos .....                                                                                                  | 14 |
| 4.1.5 – Evaporação .....                                                                                              | 15 |
| 4.1.6 – Evapotranspiração potencial máxima e real .....                                                               | 15 |
| 4.2– Sinopse Climatológica .....                                                                                      | 17 |
| 5 – ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS .....                                                                                      | 17 |
| 5.1 – Dados Utilizados.....                                                                                           | 17 |
| 5.2 – Caracterização do Regime Pluviométrico.....                                                                     | 17 |
| 5.2.1 – Nível Diário .....                                                                                            | 17 |
| 5.2.2 – Chuvas Intensas .....                                                                                         | 21 |
| 6 – ESTUDO DE CHEIAS .....                                                                                            | 24 |
| 6.1 – Introdução.....                                                                                                 | 24 |
| 6.2 – Metodologia .....                                                                                               | 24 |
| 6.2.1 – Ajuste da chuva pontual para toda bacia.....                                                                  | 25 |
| 6.2.2 – Cálculo da chuva virtual de 24h de duração (P24) .....                                                        | 26 |
| 6.2.3 – Estudo das cheias pelo Método do Hidrograma Unitário Triangular (HUT) do Soil Conservation Service (SCS)..... | 27 |
| 6.2.3.1 - Tempo de Concentração .....                                                                                 | 28 |
| 6.2.3.2 - Hidrograma Unitário Triangular para Duração $D = 1/5 T_c$ .....                                             | 28 |
| 6.2.3.3 - Excesso de Precipitação .....                                                                               | 29 |
| 6.2.3.4 - Hidrograma Total Afluente.....                                                                              | 29 |
| 6.3 - Volume afluente .....                                                                                           | 31 |
| 6.3.1 – Rendimento pluvial da bacia.....                                                                              | 31 |
| 6.3.2 – Volume afluente escoado. ....                                                                                 | 32 |

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 6.3.3 – Volume de acumulação do reservatório .....              | 32 |
| 7 – DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO DO RESERVATÓRIO .....           | 33 |
| 7.1 – Metodologia .....                                         | 33 |
| 7.2 – Lâmina de evaporação .....                                | 34 |
| 7.3 Fator de Forma da Bacia ( $\alpha$ ) .....                  | 35 |
| 7.4 - Fator Adimensional de Evaporação ( $F_e$ ) .....          | 36 |
| 7.5 - Relação Volume Regularizado X Capacidade de Reserva ..... | 36 |
| 8. - ESTUDO DE PROPAGAÇÃO DE ENCHENTES .....                    | 38 |
| 8.1 - Metodologia .....                                         | 38 |
| 8.1.1 - Dados .....                                             | 39 |
| 8.1.2 - Determinação da Hidrógrafa Efluente .....               | 40 |
| 8.1.3 – Cálculo da folga .....                                  | 45 |
| 8.1.4 - Conclusão da Hidrologia .....                           | 46 |
| 8.1.5 – DEFINIÇÃO DO ÍNDICE CURVE NUMBER .....                  | 48 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                | 49 |

## Lista de Quadros

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Quadro 3.1: Declividade média da bacia pela compensação das áreas.....                                             | 8  |
| Quadro 4.1: Temperaturas máxima, média compensada e mínimas. Fonte: INMET(1991-2020)                               | 12 |
| Quadro 4.1.2: Umidade relativa média anual. FONTE: INMET (1991-2020) .....                                         | 12 |
| Quadro 4.1.3: Insolação média mensal na Estação de Sobral. FONTE: INMET (1961-2015) .....                          | 13 |
| Quadro 4.1.4 – Velocidade média dos ventos na estação de sobral. FONTE: INMET (1981-2010)<br>.....                 | 14 |
| Quadro 4.1.5 – Evaporação média mensal. Fonte: INMET (1981 a 2010) .....                                           | 15 |
| Quadro 4.1.6 – Evapotranspiração potencial média mensal. FONTE: INMET (1961-2015).....                             | 15 |
| Quadro 4.1.6.1 – Evapotranspiração real média mensal .....                                                         | 16 |
| Quadro 5.2.1a – Quadro de localização dos postos pluviométricos .....                                              | 18 |
| Quadro 5.2.1b – Área de influência de cada posto pluviométrico .....                                               | 19 |
| Quadro 5.2.1c – Quadro com precipitações máximas diárias ocorridas anualmente em cada posto<br>de influência. .... | 21 |
| Quadro 5.2.1d – Chuva de 1 dia, com probabilidade de recorrência futura .....                                      | 21 |
| Quadro 5.2.2 – Quadro de desagregação de chuvas diárias proposta por Torrico (1974).....                           | 23 |
| Quadro 6.2.1 – Conversão da chuva pontual em chuva distribuída na bacia hidrográfica. ....                         | 26 |
| Quadro 6.2.2– Chuva de 1 dia para virtual de 24h .....                                                             | 26 |
| Quadro 6.2.2.1 – Altura de chuvas com duração de 1h.....                                                           | 27 |
| Quadro 6.2.3.3 – Precipitação efetiva da chuva de 3 h (Tc) .....                                                   | 29 |
| Quadro 6.2.3.4 – Hidrograma das cheias.....                                                                        | 30 |
| Quadro 6.3.3 – Cota volume do reservatório.....                                                                    | 33 |
| Quadro 7.2 – Taxa de evapotranspiração anual na estação de Sobral. Fonte COGERH.....                               | 34 |
| Quadro 7.3 – Altura x volume.....                                                                                  | 35 |
| Quadro 7.5 – Percentuais do volume acumulado através do DTR para simulação do reservatório<br>.....                | 37 |
| Quadro 7.6 – Relação entre a capacidade do reservatório e o volume regularizado .....                              | 37 |
| Quadro 8.1.2 – Tabela para determinação do gráfico de Routing .....                                                | 41 |
| Quadro 8.1.2a – Determinação dos coeficientes da curva de routing.....                                             | 42 |
| Quadro 8.1.2b – Descarga efluente para 1.000 anos de recorrência .....                                             | 44 |
| Quadro 8.1.2c – Descarga efluente para 10.000 anos de recorrência.....                                             | 45 |
| Quadro 8.1.4 – Resumo da hidrologia.....                                                                           | 47 |

## Lista de Figuras

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 - Mapa de Localização e Acesso. ....                                                                          | 7  |
| Figura 3.2: Bacia hidrográfica do Açude Oitis .....                                                                      | 10 |
| Figura 3.3: Tipos de solo no município de mucambo. Fonte – Ministério da Agricultura .                                   | 10 |
| Figura 4.1: Gráfico comparativo entre as temperaturas máxima, compensada e mínima (1991-2020). Fonte: INMET .....        | 12 |
| Figura 4.1.2: Gráfico representativo da umidade relativa média da cidade de Sobral. ....                                 | 13 |
| Figura 4.1.3: Gráfico representativo da insolação média mensal, estação de Sobral. Fonte: INMET (1991-2020) .....        | 14 |
| Figura 4.1.4 – Gráfico representativo da velocidade dos ventos mensais. Estação de Sobral. Fonte: INMET (1981-2010)..... | 14 |
| Figura 4.1.5 – Evaporação média mensal na estação de Sobral. FONTE: INMET (1981-2010).....                               | 15 |
| Figura 4.1.6 – Evapotranspiração potencial média mensal. FONTE: INMET (1981-2010) .....                                  | 16 |
| Figura 4.1.6.1 – Evapotranspiração real mensal. Fonte: COGERH.....                                                       | 16 |
| Figura 5.2.1 – Polígonos de Thiessen sobre área de influência da bacia hidrográfica ....                                 | 19 |
| Figura 5.2.2 – Isozona. Fonte Torrico (1974).....                                                                        | 23 |
| Figura 6.2.2 – Altura de chuva por tempo de duração .....                                                                | 27 |
| Figura 6.2.3.2 – Diagrama unitário .....                                                                                 | 29 |
| Figura 6.2.3.4 -Gráfico representativo da vazão afluente com recorrências. ....                                          | 31 |
| Figura 6.3.3 – Representação gráfica da cota x volume .....                                                              | 33 |
| Figura 7.5 – Diagrama Triangular de Regularização.....                                                                   | 37 |
| Figura 8.1.1 – Lâmina de sangria x volume de acumulação .....                                                            | 39 |
| Figura 8.1.1a – Coeficiente de descarga $C_o$ .....                                                                      | 40 |
| Figura 8.1.2 – Gráfico da curva de Routing .....                                                                         | 41 |
| Figura 8.1.3 – fetch máximo alcançado na bacia hidráulica do Açude Oitis .....                                           | 45 |

## APRESENTAÇÃO

A empresa Maximino dos Santos & Cia Ltda, no âmbito do Contrato Nº 11/SRH/CE/2023 assinado em 27/01/2024, com publicação no Diário Oficial do Estado em 20/02/2024 com ordem serviço nº 02/2024/SRH emitida em 05/02/2024 tem por finalidade a ELABORAÇÃO DOS ESTUDOS BÁSICOS E CONCEPÇÃO, ESTUDO DE VIABILIDADE AMBIENTAL-EVA, PLANO DE DESMATAMENTO RACIONAL E DETALHAMENTO DO PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM OITIS, SITUADA NOS MUNICÍPIOS DE MUCAMBO/GRAÇA, NO ESTADO DO CEARÁ.

Os estudos desenvolvidos, em atendimento ao Termo de Referência, foram constituídos por atividades multidisciplinares que permitem a elaboração de relatórios específicos organizados em FASE A – Estudos Básicos, FASE B – Estudos ambientais e FASE C – Detalhamento do Projeto Executivo, conforme são apresentados na sequência:

- ❖ FASE A: Estudos Básicos
  - Volume 1: Estudos Cartográficos;
  - Volume 2: Estudos Topográficos;
  - Volume 3: Estudos Geológico-Geotécnicos;
  - Volume 4: Estudos Hidrológicos;
  - Volume 5: Relatório de Concepção da Barragem
- ❖ FASE B: Estudos Ambientais
  - Volume 1: Estudos de Viabilidade Ambiental – EVA;
  - Volume 2: Plano de Desmatamento Racional – PDR
- ❖ FASE C: Detalhamento do Projeto Executivo
  - Volume 1: Memorial Descritivo do Projeto;
  - Volume 2: Desenhos;
  - Volume 3: Memória de Cálculo;
  - Volume 4: Especificações Técnicas;
  - Volume 5: Quantitativos e Orçamentos;
  - Volume 6: Relatório Síntese

O presente relatório refere-se a **Fase A – Estudos Básicos - Volume 4: Estudos Hidrológicos**.

## 1.0 – INTRODUÇÃO

O presente relatório consolida o **Volume 4 – ESTUDOS HIDROLÓGICOS DOS ESTUDOS BÁSICOS – FASE A**, relativo ao Projeto Executivo da Barragem Oitis, que barra o riacho homônimo, divisor dos municípios de Mucambo/Graça, no Estado do Ceará.

O presente relatório é um produto da atividade de gerenciamento do contrato do PROJETO EXECUTIVO DA BARRAGEM OITIS, objeto do Contrato Nº 11/SRH/CE/2023, que tem como meta a “Contratação de Serviços de Consultoria para a Elaboração dos Estudos Básicos e Concepção, Estudos de Viabilidade Ambiental-EVA, Plano de Desmatamento Racional e Detalhamento do Projeto Executivo da Barragem Oitis, nos municípios de Mucambo/Graça, no Estado do Ceará.

Este relatório contém os elementos necessários à tomada de decisão sobre o porte da barragem e suas obras complementares, abordando os seguintes tópicos:

- ☐ Localização e Acesso;
- ☐ Caracterização Física da Bacia Hidrográfica;
- ☐ Caracterização Climática da Bacia Hidrográfica;
- ☐ Regime Pluviométrico da Bacia Hidrográfica;
- ☐ Regime Fluvial e o Dimensionamento do Reservatório;
- ☐ Regime Fluvial Médio;
- ☐ Emprego de Metodologias;

## 2.0 – LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A barragem Oitis será formada pelo barramento do riacho Oitis, afluente do rio Jaibaras, pela margem esquerda, e do rio Acaraú, distante 5,0 km da sede municipal de Mucambo, no Estado do Ceará.

O eixo proposto da barragem está georreferenciado pelas coordenadas 305.338,85E, e 9.562.584,70N com elevação de 144,00m referente ao Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), implantado no ano de 2000 (SIRGAS 2000).

O acesso ao local da obra poderá ser feito a partir de Fortaleza pela Rodovia BR 222 até a localidade de Aprazível, km 250. Neste local toma-se à esquerda pela CE 321, em direção à cidade de Mucambo, percorrendo 36 km. De Mucambo prossegue-se por uma estrada carroçável percorrendo-se à distância de 5,0 km até o local do barramento. A extensão total será de aproximadamente de 280 km.

Outro acesso ao local do barramento poderá ser feito através da Rodovia BR 020, até Canindé (105 km), prosseguindo pela CE 257, até a cidade de Santa Quitéria (104 km), daí, seguindo para Varjota e Reriutaba pela CE 366. O acesso ao barramento continua pela CE 253, passando por Pacujá, e indo até Mucambo. Deste ponto, segue por estrada carroçável até o barramento, percorrendo 5,0 km de extensão, totalizando 310 km. A figura 2.1, apresenta o mapa de localização.

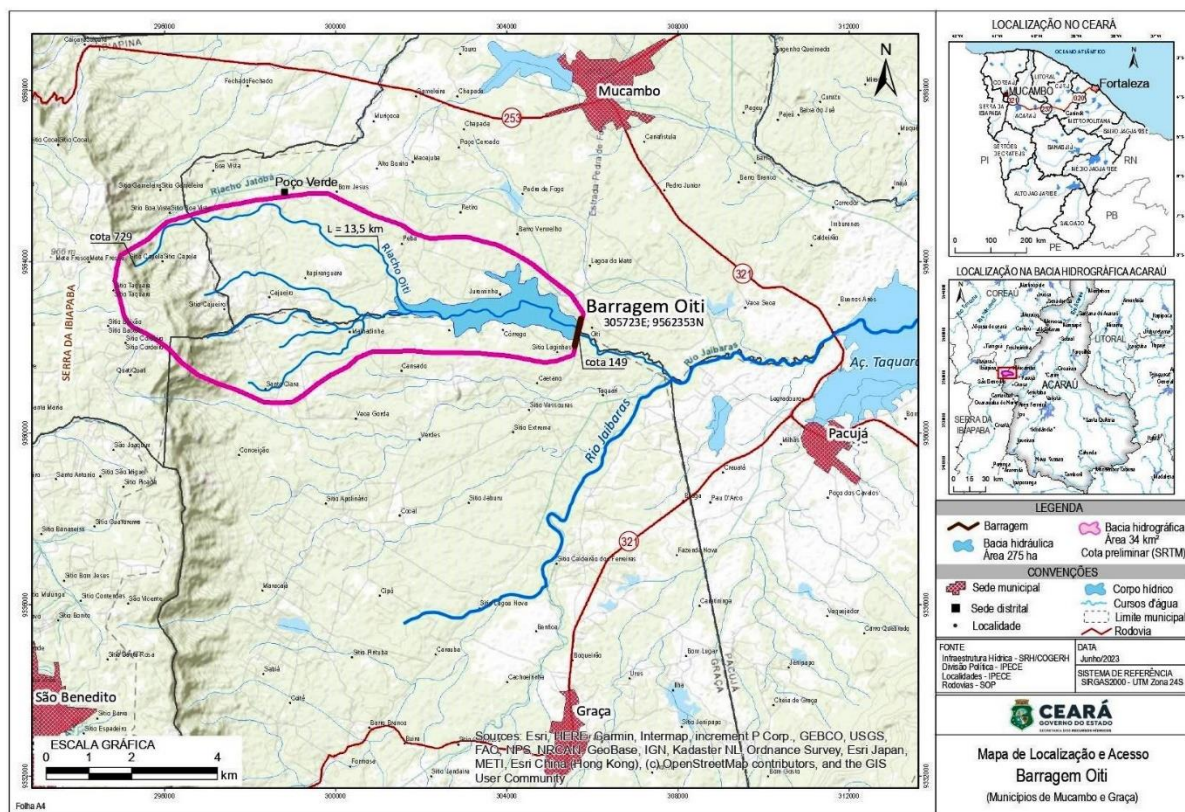


Figura 2.1 - Mapa de Localização e Acesso.

### 3.0 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica do açude Oitis abrange uma área de 34,83 km², com perímetro de 27,42 km, declividade de 12,51 m/km e comprimento do curso principal de 12,47 km. A forma desta bacia pode ser caracterizada utilizando estes dados.

A forma da bacia hidrográfica afeta o tempo de concentração que é o tempo para que toda a bacia contribua no seu exultório, podendo assim servir como um indicativo de tendência para enchentes de uma bacia.

Como a nascente do riacho Oitis se situa no topo da serra da Ibiapaba, a inclinação inicial é bastante elevada se comparada ao restante do talvegue. Logo, utilizar o método direto para obtenção da declividade média daria uma majoração enganosa da declinação. O método da compensação das áreas é o mais ideal nesse caso, pois faz uma compensação por peso em seguimentos estudados. A equação utilizada para esse fim, é a seguinte:

$$I_{eq} = \left\{ L / \sum (L_i / \sqrt{D_i}) \right\}^2 \quad I_{eq} = \text{declividade equivalente};$$

L = comprimento do talvegue;

D<sub>i</sub> = divisão do talvegue

A tabela 3.1 abaixo é referente aos valores encontrados para a bacia hidrográfica do açude Oitis, onde se utiliza da divisão do talvegue principal em seguimentos, nesse caso, 7 trechos distintos divididos de forma aleatória.

| Declividade média da bacia pela compensação das áreas |               |               |                      |                      |                                   |      |
|-------------------------------------------------------|---------------|---------------|----------------------|----------------------|-----------------------------------|------|
| Segmento                                              | Cota inferior | Cota superior | Dist. entre segmento | Declividade segmento | Dist. Segmento/Raiz da inclinação |      |
| AB                                                    | 150,00        | 155,00        | 1.541,78             | 0,0032417            | 27.079,18                         |      |
| BC                                                    | 155,00        | 162,93        | 942,86               | 0,0084148            | 10.278,38                         |      |
| CD                                                    | 162,93        | 170,00        | 1.421,68             | 0,0049716            | 20.162,97                         |      |
| DE                                                    | 170,00        | 189,78        | 2.458,89             | 0,0080443            | 27.415,46                         |      |
| EF                                                    | 189,78        | 243,14        | 2.522,78             | 0,0211513            | 17.346,47                         |      |
| FG                                                    | 243,14        | 299,01        | 933,28               | 0,0598641            | 3.814,42                          |      |
| GH                                                    | 299,01        | 937,58        | 2.650,25             | 0,2409459            | 5.399,17                          |      |
|                                                       |               |               | 12.471,52            |                      | 111.496,05                        |      |
| Declividade média /m                                  |               |               |                      |                      | 0,0125118                         | m/m  |
| Declividade média/km                                  |               |               |                      |                      | 12,51                             | m/km |

**Quadro 3.1: Declividade média da bacia pela compensação das áreas.**

### 3.1 – Índices de Forma da Bacia

A forma superficial de uma bacia hidrográfica está diretamente ligada à sua aptidão para formar ondas de cheias.

Vários índices podem ser utilizados para determinar a forma de bacias, procurando-a relacioná-la com formas geométricas conhecidas. O fator de compacidade a relaciona com o círculo, enquanto o fator de forma com o retângulo.

A bacia do Açude Oitis abrange uma área de 34,83 km<sup>2</sup>, perímetro de 27,42 km, declividade de 12,51 m/km e comprimento do curso principal de 12,47 km.

Portanto, a bacia do açude Oitis pode ser caracterizada por estes índices calculados da seguinte forma.

$$k_c = \frac{P}{\frac{2\pi\sqrt{A}}{\sqrt{\pi}}} \quad \text{Fator de compacidade}$$

$$k_f = \frac{A}{L^2} \quad \text{Fator de forma}$$

Onde:

**A** é a área, **P** é perímetro e **L** é o comprimento do principal curso d'água.

Aplicando as fórmulas acima que caracterizam a morfologia da bacia do riacho Oitis, temos os seguintes valores:

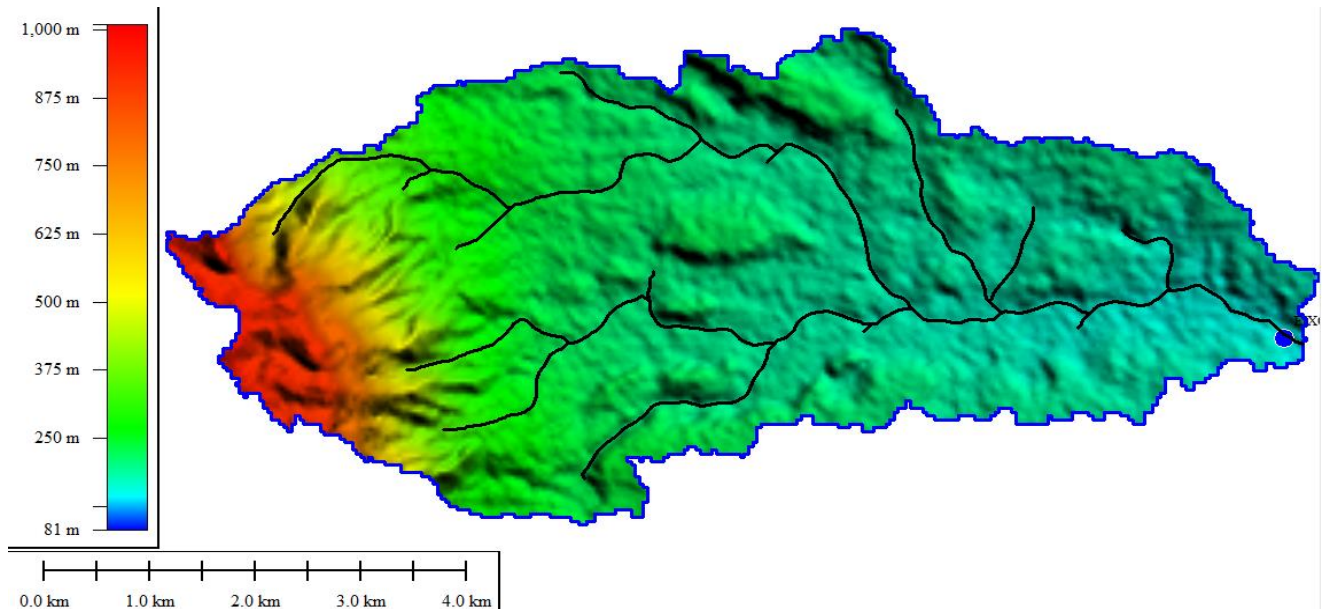
$$K_c = 1,31$$

$$K_f = 0,22$$

Quando temos um fator de compacidade que se aproxima a 1, corresponderia a uma bacia circular, e, se outros fatores forem iguais, uma bacia com este índice próximo a 1, teria uma tendência mais acentuada a maiores enchentes. O fator de compacidade da Bacia do riacho Oitis é relativamente próximo a 1, o que indica uma bacia com tendência mediana a cheias, se comparada com bacias semelhantes com forma mais alongada.

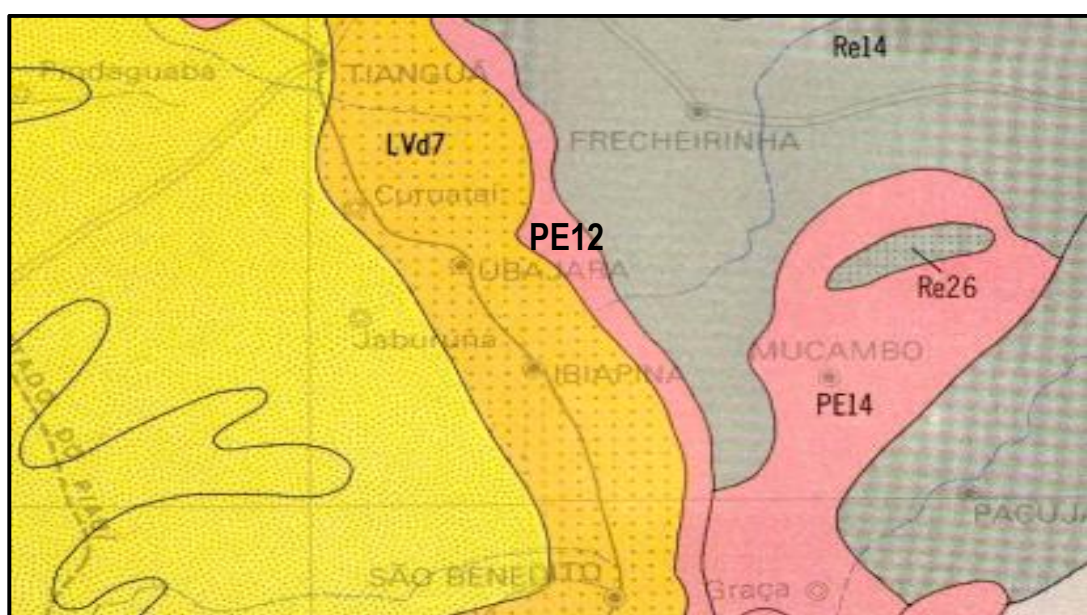
Um fator de forma baixo indica que uma bacia é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo tamanho, porém, com maior fator de forma. Isso se deve ao fato de que uma bacia estreita e longa, com baixo  $k_c$ , há menos possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão, além de se afastar da condição de bacia

circular onde os tributários do curso principal contribuem em um único ponto. A Figura 3.2 mostra a bacia hidrográfica do Açude Oitis e as curvas de nível.



**Figura 3.2: Bacia hidrográfica do Açude Oitis**

Segundo a FUNCEME, a vegetação é composta de Caatinga Arbustiva Aberta, Floresta Caducifólia Espinhosa e Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial, e Mata Seca. O principal uso e ocupação é para agricultura (culturas anuais, temporárias e permanentes) e pastagem e vegetação natural.



**Figura 3.3: Tipos de solo no município de mucambo. Fonte – Ministério da Agricultura**

A bacia do Açude Oitis tem predominantemente solos **PE 12** (Podzólicos Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico + Solos Litológicos Eutrófico Indiscriminados com Afloramentos de Rochas), **PE14** (Podzólicos Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico) e **Re14** (Litológico Eutrófico + Podzólicos Vermelho Amarelo Equivalente Eutrófico). Ver Figura 3.3, onde, associado com o relevo, resulta numa moderada capacidade de drenagem para a bacia.

#### 4.0 – ESTUDOS HIDROCLIMÁTICOS

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

A bacia hidrográfica estudada drena uma área de 34,83 km<sup>2</sup> no local a ser barrado. A referida bacia não tem localizada em seus domínios nenhuma estação hidroclimatológica, sendo por isso, utilizada como estação representativa a da cidade de Sobral (INMET, normais 1991-2020)<sup>1</sup>. No ano de 2020, a estação de Sobral teve suas operações finalizadas.

#### 4.1 – Principais Parâmetros

##### 4.1.1 – 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 T12 e T24 TMG, TMAX e TMIN do dia, pela seguinte fórmula estabelecida pela OMM (Organização Meteorológica Mundial) :

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

Onde,

Tcomp - Temperatura média compensada

T12 - Temperatura observada às 12:00 TMG

---

<sup>1</sup>INMET, 2020. Portal INMET-Normais Climatológica do Brasil.

## T24 - Temperatura observada às 24:00 TMG

| QUADRO 4.1 – TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS E COMPENSADAS (°C) NA ESTAÇÃO DE SOBRAL (1991-2020) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| MÉDIA                                                                                          | JAN  | FEV  | MAR  | ABR  | MAI  | JUN  | JUL  | AGO  | SET  | OUT  | NOV  | DEZ  | ANO  |
| Máxima                                                                                         | 34,2 | 32,7 | 32,1 | 31,4 | 32,2 | 33,1 | 34,2 | 35,8 | 36,7 | 36,9 | 36,7 | 36,2 | 34,4 |
| Comp.                                                                                          | 27,5 | 26,7 | 26,3 | 26   | 26,2 | 26,3 | 26,8 | 27,5 | 28,1 | 28,3 | 28,4 | 28,5 | 27,2 |
| Mínima                                                                                         | 22,9 | 22,7 | 22,6 | 22,6 | 21,1 | 21,1 | 20,9 | 21,1 | 21,9 | 22,4 | 22,5 | 22,9 | 22,1 |

Quadro 4.1: Temperaturas máxima, média compensada e mínimas. Fonte: INMET(1991-2020)

A temperatura compensada apresenta uma pequena variação de 0,6 °C, isso para os meses de agosto (27,5 °C) e setembro (28,1 °C). As médias máximas e mínimas extremas ocorrem respectivamente nos meses de outubro (36,9 °C) e julho (20,9 °C), conforme se observa no Quadro 4.1 e Figura 4.1.

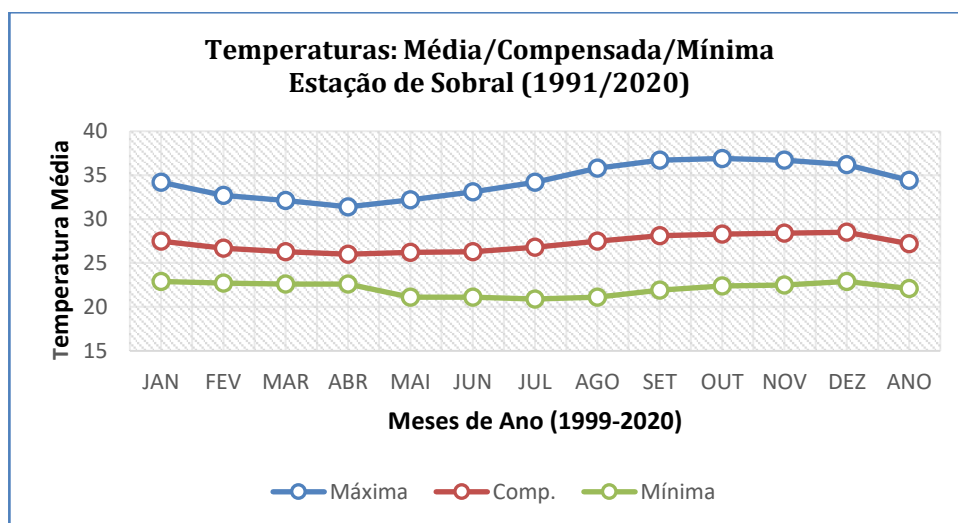


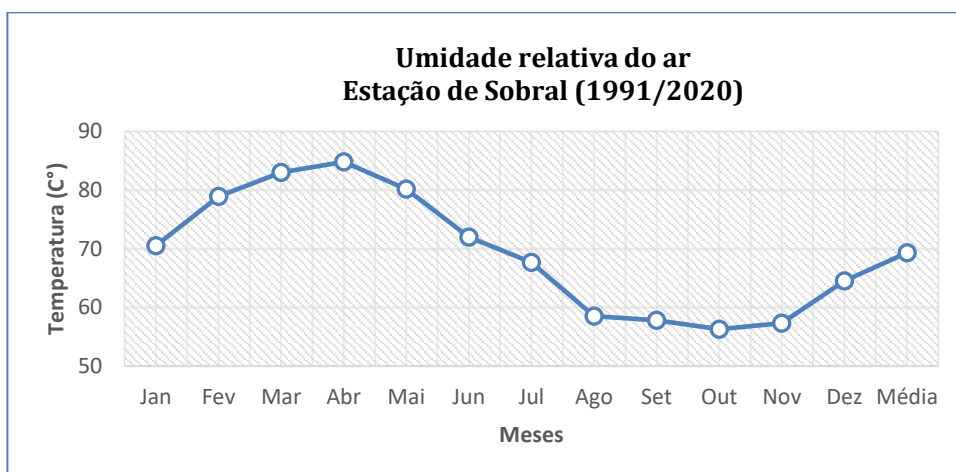
Figura 4.1: Gráfico comparativo entre as temperaturas máxima, compensada e mínima (1991-2020). Fonte: INMET

### 4.1.2 – Umidade Relativa

A umidade relativa média apresenta uma variação máxima de 30% referente aos meses de Abril (85%) e setembro (55%), como se pode verificar no Quadro 4.1.2 e Figura 4.1.2.

| Tabela 4.1.2 – Umidade Relativa na Estação Sobral (1999-2020) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|---------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Umidade                                                       | Jan  | Fev  | Mar  | Abr  | Mai  | Jun  | Jul  | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez  | Média |
| %                                                             | 70,5 | 78,9 | 83,0 | 84,8 | 80,2 | 72,0 | 67,7 | 58,5 | 57,8 | 56,3 | 57,3 | 64,5 | 69,3  |

Quadro 4.1.2: Umidade relativa média anual. FONTE: INMET (1991-2020)



**Figura 4.1.2:** Gráfico representativo da umidade relativa média da cidade de Sobral.

Os índices de umidade resultam dos efeitos climatológicos, sendo a pluviometria o principal componente do fenômeno. Assim, diante da inexistência de outras estações hidroclimatológica nas proximidades da área de estudo, considerou-se os valores da Estação de Sobral.

#### 4.1.3 – Insolação

A Tabela 4.1.3 mostra o número de horas de exposição no local da estação de Sobral, e sua distribuição mensal. Em termos anuais, no mesmo período, tem-se 23.538 horas de exposição, podendo-se concluir de maneira aproximada que cerca de 60% dos dias do ano possuem incidência solar direta.

| Insolação Média Mensal - Estação de Sobral (1991-2020) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |       |
|--------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|
| MÉDIA                                                  | JAN   | FEV   | MAR   | ABR   | MAI   | JUN   | JUL   | AGO   | SET   | OUT   | NOV   | DEZ | MÉDIA |
| horas                                                  | 194,2 | 174,2 | 184,1 | 181,7 | 219,3 | 226,1 | 250,6 | 289,4 | 284,1 | 290,0 | 259,4 | 246 | 233,3 |

**Quadro 4.1.3:** Insolação média mensal na Estação de Sobral. FONTE: INMET (1961-2015)

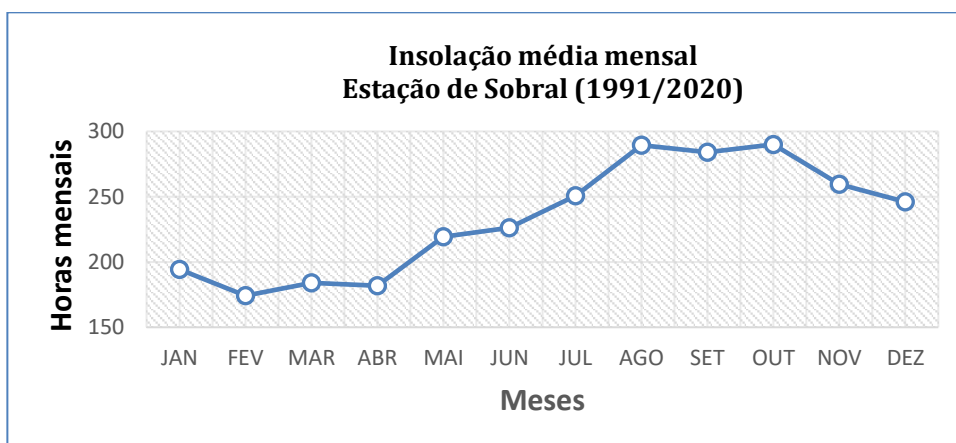


Figura 4.1.3: Gráfico representativo da insolação média mensal, estação de Sobral. Fonte: INMET (1991-2020)

#### 4.1.4 – Ventos

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

| Velocidade média dos ventos - Estação de Sobral (1981-2010) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |
|-------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| MÊS                                                         | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ | MÉDIA |
| m/s                                                         | 2,2 | 1,8 | 1,5 | 1,2 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 2,2 | 2,7 | 2,7 | 3,0 | 3,3 | 2,10  |

Quadro 4.1.4 – Velocidade média dos ventos na estação de sobral. FONTE: INMET (1981-2010)

A estação de Sobral apresenta suas velocidades médias dos ventos descrita na Tabela 4.1.4. A direção reinante dos ventos está dentro do quadrante Sudeste/Leste, para o período de abril a setembro, e dentro do quadrante Leste/Nordeste para o período de outubro a março.

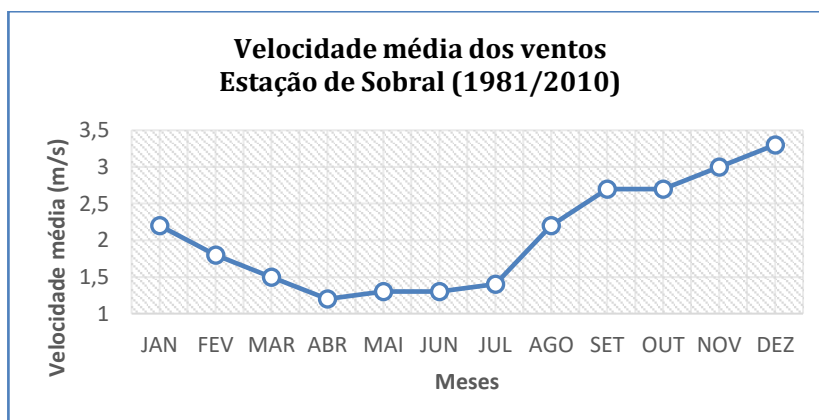


Figura 4.1.4 – Gráfico representativo da velocidade dos ventos mensais. Estação de Sobral. Fonte: INMET (1981-2010)

Obs: Não houve dados registrados entre os anos de 2011 a 2020 para aferição da velocidade dos ventos na estação de Sobral.

#### 4.1.5 – Evaporação

A evaporação média mensal é considerada elevada na região do Vale do Acaraú. Na estação de Sobral, os valores foram obtidos com a utilização de um Evaporímetro de Piché. Os dados apresentaram, demonstram que 69% da evaporação ocorre durante os meses secos (julho a dezembro).

| Evaporação média mensal - Estação de Sobral (1981 - 2010) |       |       |      |      |      |       |       |       |       |     |       |       |        |
|-----------------------------------------------------------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|--------|
| MÊS                                                       | JAN   | FEV   | MAR  | ABR  | MAI  | JUN   | JUL   | AGO   | SET   | OUT | NOV   | DEZ   | MÉDIA  |
| (mm)                                                      | 193,3 | 114,4 | 87,7 | 69,9 | 91,5 | 142,5 | 203,2 | 268,5 | 297,9 | 309 | 293,8 | 272,0 | 195,31 |

Quadro 4.1.5 – Evaporação média mensal. Fonte: INMET (1981 a 2010)

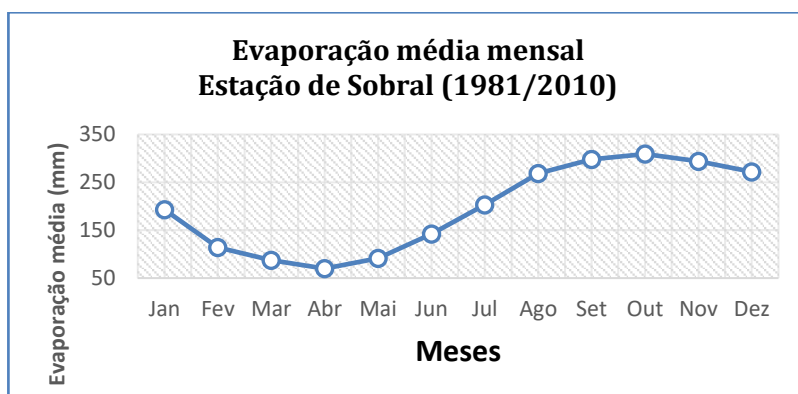


Figura 4.1.5 – Evaporação média mensal na estação de Sobral. FONTE: INMET (1981-2010)

Obs: Não houve dados registrados entre os anos de 2011 a 2020 para aferição da velocidade dos ventos na estação de Sobral.

#### 4.1.6 – Evapotranspiração potencial máxima e real

A evapotranspiração efetiva ocorre de acordo com o suprimento de água existente no solo. Como se observa nas tabelas abaixo, os meses de maior valor ocorrem no período seco do ano.

| Evapotranspiração potencial mensal - Estação de Sobral (1981 - 2010) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |
|----------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| MÊS                                                                  | JAN   | FEV   | MAR   | ABR   | MAI   | JUN   | JUL   | AGO   | SET   | OUT   | NOV   | DEZ   | MÉDIA  |
| (mm)                                                                 | 200,9 | 161,2 | 142,4 | 151,7 | 144,3 | 165,8 | 182,4 | 192,9 | 213,6 | 200,6 | 212,3 | 177,3 | 178,78 |

Quadro 4.1.6 – Evapotranspiração potencial média mensal. FONTE: INMET (1961-2015)

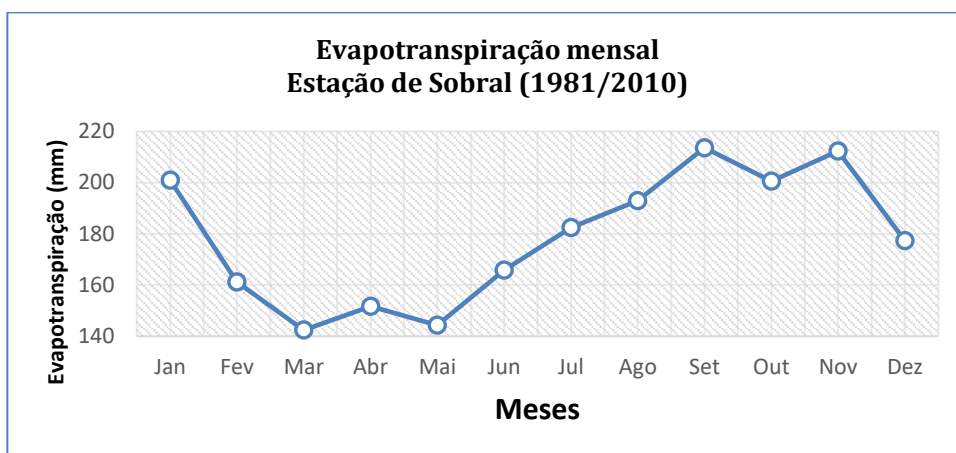


Figura 4.1.6 – Evapotranspiração potencial média mensal. FONTE: INMET (1981-2010)

| Evapotranspiração real anual - Estação de Sobral (1991-2020) |        |        |        |        |       |       |       |      |      |      |      |       |        |
|--------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|--------|
| Mês                                                          | Jan    | Fev    | Mar    | Abr    | Mai   | Jun   | Jul   | Ago  | Set  | Out  | Nov  | Dez   | Ano    |
| (mm)                                                         | 107,57 | 114,45 | 118,61 | 113,61 | 90,75 | 67,89 | 31,28 | 10,2 | 7,91 | 5,62 | 7,48 | 13,66 | 689,03 |

Quadro 4.1.6.1 – Evapotranspiração real média mensal

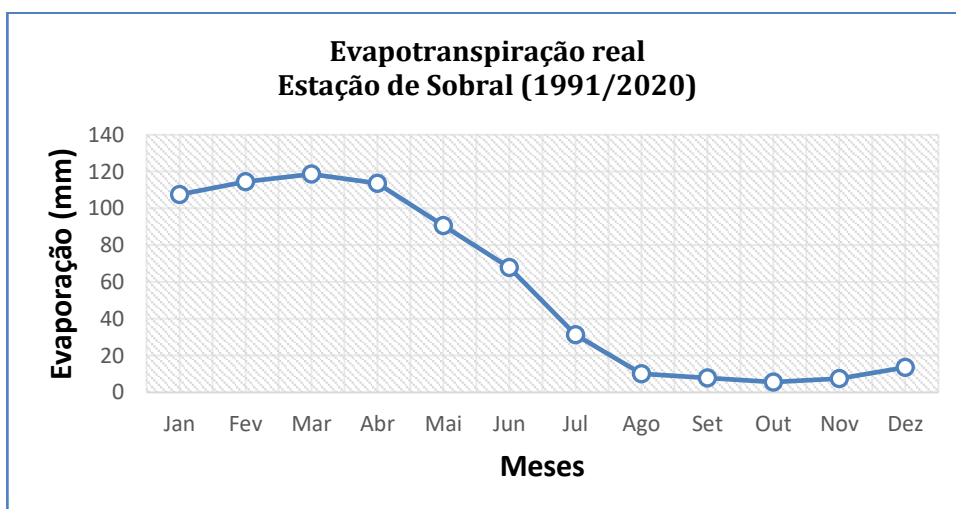


Figura 4.1.6.1 – Evapotranspiração real mensal. Fonte: COGERH

## 4.2– Sinopse Climatológica

|                                          |               |
|------------------------------------------|---------------|
| Pluviometria média anual (sobre a bacia) | 1.262 mm      |
| Evapotranspiração potencial (Hargreaves) | 2.145,4 mm    |
| Insolação anual                          | 2.799,1 horas |
| Umidade relativa anual                   | 69,3 %        |
| Temperatura máxima anual                 | 34,4 °C       |
| Temperatura compensada anual             | 27,2 °C       |
| Temperatura mínima anual                 | 22,1 °C       |
| Classificação Climática                  | DS2A'a'       |

## 5 – ESTUDOS PLUVIOMÉTRICOS

### 5.1 – Dados Utilizados

A bacia hidrográfica do Açude Oitis está situada entre os postos Mucambo (340023), Ibiapina (340018) e de São Benedito (440030). Os três postos descritos apresentam uma série histórica de precipitações diárias satisfatória para elaboração do regime de chuvas.

### 5.2 – Caracterização do Regime Pluviométrico

#### 5.2.1 – Nível Diário

Os principais tipos de precipitações da região são em decorrência da elevação brusca das massas de ar por efeito térmico, ou lento quando a massa de ar encontra obstáculos topográficos.

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.

Conforme descrito, a bacia do Açude Oitis está sobre área de influência de 3 (três) postos pluviométricos monitorados diariamente pela FUNCEME. Para compatibilização das

informações dos postos e aplicação dos dados para encontrar o regime diário das chuvas na bacia hidrográfica, foi utilizado o método dos polígonos de Voronoi e/ou Thiessen.

O método de Thiessen, consiste em subdividir a bacia em áreas delimitadas por retas unindo os pontos das estações, dando origem a vários triângulos. Traçando perpendiculares aos lados de cada triângulo, obtêm-se vários polígonos que encerram, cada um, apenas um posto de observação. Admite-se que cada posto seja representativo daquela área onde a altura precipitada é tida como constante. Cada estação recebe um peso pela área que representa em relação à área total da bacia. Se os polígonos abrangem áreas externas à bacia, essas porções devem ser eliminadas no cálculo.

Para encontrar a precipitação média de influência gerada por cada posto, temos a seguinte expressão:

$$P_m = \frac{\sum A_i P_i}{A}$$

Onde:

P<sub>m</sub>: Precipitação média

A<sub>i</sub>: Área de influência do posto sobre a bacia hidrográfica;

P<sub>i</sub>: Precipitação ocorrida no posto

A: Área tota da bacia hidrográfica.

Consultando o banco de dados hidrológicos Hidroweb, da Agência Nacional de Águas, existem 8 postos pluviométricos nas proximidades e no interior da bacia estudada. O quadro apresenta algumas características dos postos selecionados para o estudo.

| CÓDIGO | POSTO        | OPERADO: | MUNICÍPIO    | COORDENADAS |           | SÉRIE HISTÓRICA | PERÍODO     |
|--------|--------------|----------|--------------|-------------|-----------|-----------------|-------------|
|        |              |          |              | LATITUDE    | LONGITUDE |                 |             |
| 340023 | MUCAMBO      | FUNCEME  | MUCAMBO      | -3:54:0     | -40:46:0  | 49 Anos         | 1974 - 2023 |
| 340018 | IBIAPINA     | FUNCEME  | IBIAPINA     | -3:55:0     | -40:53:0  | 49 Anos         | 1974 - 2023 |
| 440030 | SÃO BENEDITO | FUNCEME  | SÃO BENEDITO | -4:04:0     | -40:51:0  | 49 Anos         | 1974 - 2023 |

**Quadro 5.2.1a – Quadro de localização dos postos pluviométricos**

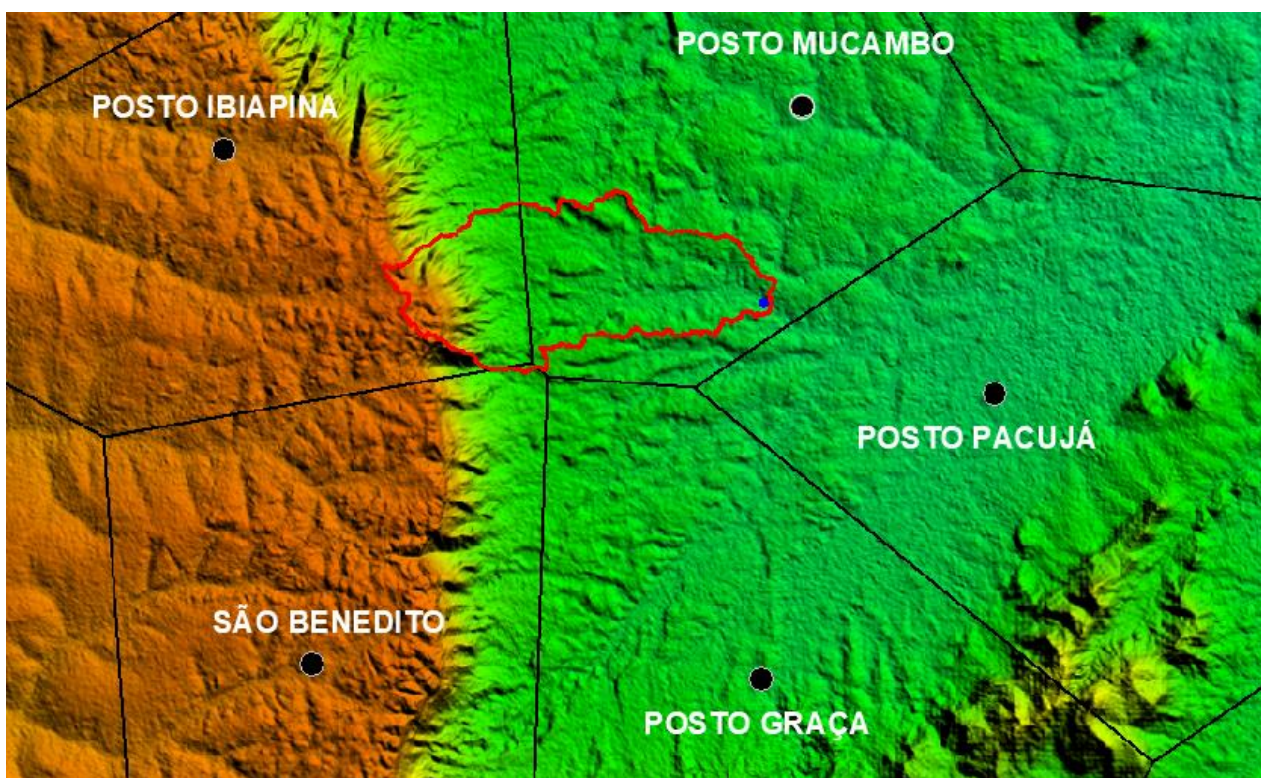


Figura 5.2.1 – Polígonos de Thiessen sobre área de influência da bacia hidrográfica

| ÁREA DE INFLUÊNCIA DE CADA POSTO |                         |                |
|----------------------------------|-------------------------|----------------|
| POSTO                            | ÁREA (Km <sup>2</sup> ) | PERCENTUAL (%) |
| MUCAMBO                          | 21,33                   | 61,24%         |
| IBIAPINA                         | 12,3                    | 35,31%         |
| SÃO BENEDITO                     | 1,2                     | 3,45%          |
| <b>TOTAL</b>                     | <b>34,83</b>            | <b>100%</b>    |

Quadro 5.2.1b – Área de influência de cada posto pluviométrico

Com base nos dados baixados no site da FUNCEME, órgão que mantém o monitoramento sistemáticos dos postos indicados e aplicando método dos polígonos de Thiessen, chegamos a seguinte tabela:

| POSTO MUCAMBO |                                   |                            | POSTO IBIAPINA |                                   |                            | POSTO SÃO BENEDITO |                                   |                            | THIESSEN |                                   |                            |
|---------------|-----------------------------------|----------------------------|----------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------------|----------|-----------------------------------|----------------------------|
| ANO           | Precipit ação máxima diária anual | Precipit ação máxima anual | ANO            | Precipit ação máxima diária anual | Precipit ação máxima anual | ANO                | Precipit ação máxima diária anual | Precipit ação máxima anual | ANO      | Precipit ação máxima diária anual | Precipit ação máxima anual |
| 1974          | 57,20                             | 1.664,40                   | 1974           | 120,00                            | 2.835,30                   | 1974               | 120,00                            | 2.419,00                   | 1974     | 81,54                             | 2.103,89                   |
| 1975          | 69,60                             | 1.198,50                   | 1975           | 88,00                             | 1.918,00                   | 1975               | 54,20                             | 1.439,60                   | 1975     | 75,57                             | 1.460,89                   |
| 1976          | 46,00                             | 823,00                     | 1976           | 86,00                             | 1.405,00                   | 1976               | 79,10                             | 1.186,80                   | 1976     | 61,27                             | 1.041,06                   |
| 1977          | 90,00                             | 1.079,70                   | 1977           | 86,00                             | 1.588,00                   | 1977               | 84,00                             | 1.120,60                   | 1977     | 88,38                             | 1.260,61                   |

|      |        |          |      |        |          |      |        |          |      |        |          |
|------|--------|----------|------|--------|----------|------|--------|----------|------|--------|----------|
| 1978 | 81,00  | 969,80   | 1978 | 69,00  | 967,00   | 1978 | 90,00  | 1.012,20 | 1978 | 77,07  | 970,27   |
| 1979 | 80,00  | 840,60   | 1979 | 84,00  | 1.089,00 | 1979 | 73,00  | 718,70   | 1979 | 81,17  | 924,12   |
| 1980 | 57,00  | 774,90   | 1980 | 103,00 | 1.394,00 | 1980 | 63,10  | 983,20   | 1980 | 73,45  | 1.000,71 |
| 1981 | 53,80  | 583,50   | 1981 | 88,00  | 1.068,90 | 1981 | 65,00  | 797,50   | 1981 | 66,26  | 762,29   |
| 1982 | 74,00  | 871,20   | 1982 | 98,00  | 1.259,10 | 1982 | 65,00  | 1.036,60 | 1982 | 82,17  | 1.013,88 |
| 1983 | 66,60  | 476,60   | 1983 | 121,00 | 803,00   | 1983 | 70,00  | 564,60   | 1983 | 85,93  | 594,90   |
| 1984 | 61,40  | 897,00   | 1984 | 89,00  | 2.041,00 | 1984 | 74,00  | 1.790,30 | 1984 | 71,58  | 1.331,77 |
| 1985 | 107,00 | 2.065,20 | 1985 | 125,00 | 3.230,40 | 1985 | 97,00  | 2.767,80 | 1985 | 113,01 | 2.500,89 |
| 1986 | 100,00 | 2.120,80 | 1986 | 125,00 | 2.052,00 | 1986 | 104,00 | 1.922,90 | 1986 | 108,97 | 2.089,69 |
| 1987 | 101,00 | 802,00   | 1987 | 86,00  | 1.271,00 | 1987 | 78,00  | 1.173,10 | 1987 | 94,91  | 980,41   |
| 1988 | 110,00 | 1.414,50 | 1988 | 75,00  | 2.038,00 | 1988 | 76,00  | 1.635,30 | 1988 | 96,47  | 1.642,29 |
| 1989 | 65,00  | 1.563,40 | 1989 | 90,00  | 2.113,00 | 1989 | 84,10  | 1.757,80 | 1989 | 74,49  | 1.764,19 |
| 1990 | 92,00  | 867,00   | 1990 | 115,00 | 1.566,00 | 1990 | 99,20  | 1.245,40 | 1990 | 100,37 | 1.126,88 |
| 1991 | 58,00  | 877,60   | 1991 | 93,00  | 1.217,00 | 1991 | 62,10  | 887,30   | 1991 | 70,50  | 997,79   |
| 1992 | 48,00  | 602,80   | 1992 | 51,00  | 765,70   | 1992 | 50,30  | 872,00   | 1992 | 49,14  | 669,60   |
| 1993 | 70,00  | 494,40   | 1993 | 70,00  | 950,20   | 1993 | 112,30 | 788,20   | 1993 | 71,46  | 665,49   |
| 1994 | 80,00  | 1.307,60 | 1994 | 102,00 | 2.411,00 | 1994 | 64,30  | 1.719,10 | 1994 | 87,23  | 1.711,44 |
| 1995 | 72,80  | 1.194,70 | 1995 | 102,00 | 1.981,00 | 1995 | 134,20 | 1.905,00 | 1995 | 85,23  | 1.496,85 |
| 1996 | 75,00  | 1.208,10 | 1996 | 78,00  | 1.893,00 | 1996 | 100,40 | 1.638,50 | 1996 | 76,93  | 1.464,80 |
| 1997 | 105,00 | 1.044,90 | 1997 | 73,00  | 1.012,00 | 1997 | 59,20  | 1.022,00 | 1997 | 92,12  | 1.032,49 |
| 1998 | 53,00  | 645,70   | 1998 | 44,00  | 1.013,00 | 1998 | 73,40  | 956,40   | 1998 | 50,52  | 786,11   |
| 1999 | 83,00  | 1.143,40 | 1999 | 66,00  | 1.509,00 | 1999 | 77,00  | 1.502,60 | 1999 | 76,79  | 1.284,88 |
| 2000 | 49,00  | 998,00   | 2000 | 140,00 | 2.030,40 | 2000 | 110,00 | 1.621,00 | 2000 | 83,24  | 1.384,05 |
| 2001 | 93,00  | 994,00   | 2001 | 125,00 | 1.497,00 | 2001 | 81,00  | 1.172,20 | 2001 | 103,89 | 1.177,77 |
| 2002 | 115,00 | 945,00   | 2002 | 108,00 | 1.645,00 | 2002 | 62,40  | 1.449,10 | 2002 | 110,72 | 1.209,57 |
| 2003 | 80,00  | 1.006,00 | 2003 | 85,00  | 1.896,00 | 2003 | 74,00  | 1.488,80 | 2003 | 81,56  | 1.336,93 |
| 2004 | 60,00  | 1.200,00 | 2004 | 110,00 | 2.338,00 | 2004 | 146,00 | 1.853,70 | 2004 | 80,62  | 1.624,40 |
| 2005 | 63,00  | 823,00   | 2005 | 100,00 | 1.511,00 | 2005 | 65,00  | 878,50   | 2005 | 76,14  | 1.067,88 |
| 2006 | 46,00  | 632,00   | 2006 | 125,00 | 1.790,00 | 2006 | 71,00  | 1.164,60 | 2006 | 74,76  | 1.059,29 |
| 2007 | 93,00  | 931,10   | 2007 | 80,00  | 1.269,60 | 2007 | 61,00  | 1.123,10 | 2007 | 87,31  | 1.057,25 |
| 2008 | 124,00 | 887,00   | 2008 | 115,00 | 1.977,00 | 2008 | 114,20 | 1.554,30 | 2008 | 120,48 | 1.294,92 |
| 2009 | 105,00 | 1.705,00 | 2009 | 150,00 | 2.372,00 | 2009 | 114,00 | 2.399,90 | 2009 | 121,20 | 1.964,49 |
| 2010 | 205,00 | 1.073,00 | 2010 | 80,00  | 1.464,00 | 2010 | 121,00 | 1.003,90 | 2010 | 157,96 | 1.208,70 |
| 2011 | 90,00  | 1.186,00 | 2011 | 150,00 | 2.382,00 | 2011 | 105,00 | 1.825,60 | 2011 | 111,71 | 1.630,40 |
| 2012 | 80,00  | 629,00   | 2012 | 75,00  | 1.116,00 | 2012 | 70,00  | 587,30   | 2012 | 77,89  | 799,54   |
| 2013 | 108,00 | 807,00   | 2013 | 80,00  | 1.606,00 | 2013 | 69,60  | 1.045,00 | 2013 | 96,79  | 1.097,36 |
| 2014 | 55,00  | 638,00   | 2014 | 120,00 | 1.705,00 | 2014 | 79,40  | 1.201,20 | 2014 | 78,80  | 1.034,21 |
| 2015 | 75,00  | 626,00   | 2015 | 125,00 | 1.610,50 | 2015 | 86,80  | 1.143,70 | 2015 | 93,06  | 991,51   |
| 2016 | 70,00  | 674,00   | 2016 | 78,50  | 1.486,60 | 2016 | 46,00  | 1.154,20 | 2016 | 72,17  | 977,51   |
| 2017 | 60,00  | 909,00   | 2017 | 88,80  | 1.633,60 | 2017 | 49,00  | 1.215,50 | 2017 | 69,79  | 1.175,45 |
| 2018 | 75,00  | 990,00   | 2018 | 120,00 | 2.346,60 | 2018 | 87,40  | 1.348,40 | 2018 | 91,32  | 1.481,42 |
| 2019 | 56,00  | 992,00   | 2019 | 126,00 | 2.467,50 | 2019 | 69,00  | 1.536,60 | 2019 | 81,17  | 1.531,83 |
| 2020 | 52,00  | 1.032,00 | 2020 | 106,00 | 1.973,10 | 2020 | 91,20  | 1.513,00 | 2020 | 72,42  | 1.380,92 |
| 2021 | 125,00 | 1.049,00 | 2021 | 115,50 | 1.648,70 | 2021 | 74,60  | 1.709,70 | 2021 | 119,91 | 1.283,54 |

|           |       |          |           |        |          |           |       |          |           |       |          |
|-----------|-------|----------|-----------|--------|----------|-----------|-------|----------|-----------|-------|----------|
| 2022      | 60,00 | 1.145,00 | 2022      | 98,00  | 1.902,20 | 2022      | 93,40 | 1.729,60 | 2022      | 74,57 | 1.432,54 |
| 2023      | 80,00 | 870,00   | 2023      | 115,00 | 1.726,60 | 2023      | 80,00 | 1.561,20 | 2023      | 92,36 | 1.196,32 |
| MÉDIA     | 79,51 | 1.005,45 | MÉDIA     | 98,86  | 1.695,70 | MÉDIA     | 82,60 | 1.362,85 | MÉDIA     | 86,45 | 1.261,52 |
| D. PADRÃO | 27,82 | 353,53   | D. PADRÃO | 23,71  | 526,61   | D. PADRÃO | 22,29 | 466,08   | D. PADRÃO | 19,40 | 389,49   |

**Quadro 5.2.1c – Quadro com precipitações máximas diárias ocorridas anualmente em cada posto de influência.**

Para encontrar um período de recorrência futura provável, diversas distribuições podem ser utilizadas como teóricas para as frequências observadas. Foi adotada a de Gumbel, cujas estimativas para vários períodos de retorno encontram-se no Quadro 5.2.1

Equação para a progressão futura de Gumbel.

$$x = \bar{x} + S * \left\{ 0,45 + 0,7797 * \ln \left[ \ln \left( \frac{tr}{tr - 1} \right) \right] \right\}$$

Onde:

X: Precipitação em função do tempo de recorrência

$\bar{x}$  - média das chuvas

s – desvio padrão;

tr – tempo de retorno;

ln – logaritmo neperian

Aplicando o método de Thiessen, interpolando os dados obtidos nos três postos, conforme o quadro 5.2.1b, obtemos a precipitação diária média durante a série histórica (1974-2023) de **86,45mm** com desvio padrão de 19,40.

Utilizando a distribuição de Gumbel conforme a fórmula para o período de recorrência desejada, temos a chuva de 1 dia:

| Tempo de retorno (anos) | Chuva de 1 dia (mm) |
|-------------------------|---------------------|
| 100                     | 146,69              |
| 1.000                   | 181,24              |
| 10.000                  | 215,73              |

**Quadro 5.2.1d – Chuva de 1 dia, com probabilidade de recorrência futura**

## 5.2.2 – Chuvas Intensas

Para projetos de obras hidráulicas em geral, é importante a caracterização do regime pluviométrico em intervalos de tempo inferiores há 24 horas. A definição da vazão de

projeto, por exemplo, de canais integrantes da rede de drenagem e obras d'arte, está vinculada à determinação da relação intensidade-duração-frequência pluviométrica.

Na área em estudo inexistem registros de estações pluviográficas, sendo o aparelho mais comum em estações pluviométricas o pluviômetro, capaz de registrar a "precipitação máxima de 1 dia". Isto impossibilita o uso da metodologia convencional, na qual, a partir de chuvas intensas de várias durações registradas em pluviogramas, estabelece-se uma equação que relaciona intensidade, duração e frequência para a área de representatividade do aparelho.

Como alternativa ao método tradicional, tem-se o Método das Isozonas, com base nos conceitos do Eng<sup>o</sup> Jaime Torrico Taborga (1974), que fez um estudo em diferentes estações pluviométricas do Brasil, que ao plotar as chuvas de 1 hora e 24 horas no papel de probabilidades de Hershfiel e Wilson, constatou-se que, havia uma tendência das semirretas, que relacionava altura das chuvas versus duração, interceptarem, ao serem prolongadas, um mesmo ponto no eixo das abcissas. Cada região que apresentasse essa característica seria denominada Isozona. Com esse método é possível transformar chuva de 1 dia em 24 horas e permite estimar valores para intervalos de menor duração.

A desagregação da chuva de 24 horas com menor duração, consiste nas seguintes etapas de cálculo descritas a seguir:

- a) Multiplicar a chuva de um dia por 1,10 para obter-se a chuva pontual de 24 horas;
- b) Determinar a isozona onde está localizado o centro de gravidade da bacia hidrográfica. A área de estudo está localizada na Isozona D (Figura 5.2.2);
- c) Estimar, para os diversos períodos de retorno, a chuva de 1 hora de duração a partir da chuva de 24 horas, através da multiplicação pelo fator  $R_{1h}$ ;
- d) Plotar os valores  $P_{24h}$  e  $P_{1h}$  em papel probabilístico para obtenção de chuvas de durações intermediárias.

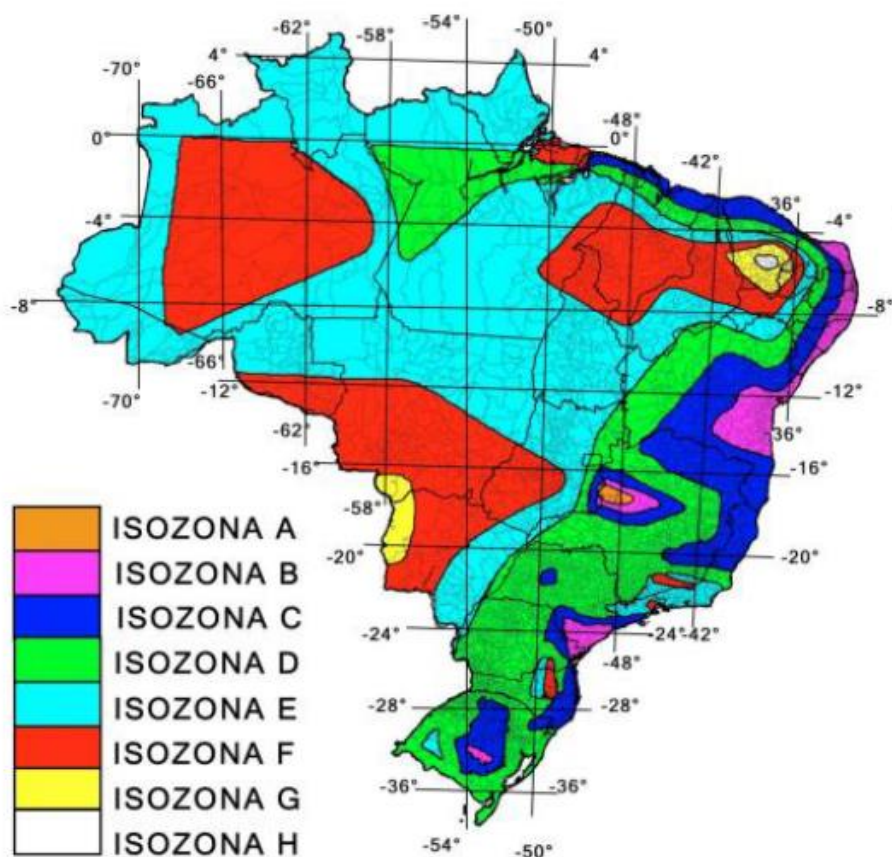


Figura 5.2.2 – Isozona. Fonte Torrico (1974)

| Relação: |   | 1h/24h |      |      |      |      |      |      |      |      |       | 6min/24h |      |
|----------|---|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|----------|------|
| Tr       |   | 5      | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 50   | 100  | 1000 | 10000 | 5 ~ 50   | 100  |
| ISOZONAS | A | 36,2   | 35,8 | 35,6 | 35,5 | 35,4 | 35,3 | 35,0 | 34,7 | 33,6 | 32,5  | 7,0      | 6,3  |
|          | B | 38,1   | 37,8 | 37,5 | 37,4 | 37,3 | 37,2 | 36,9 | 36,6 | 35,4 | 34,3  | 8,4      | 7,5  |
|          | C | 40,1   | 39,7 | 39,5 | 39,3 | 39,2 | 39,1 | 38,8 | 38,4 | 37,2 | 36,0  | 9,8      | 8,8  |
|          | D | 42,0   | 41,6 | 41,4 | 41,2 | 41,1 | 41,0 | 40,7 | 40,3 | 39,0 | 37,8  | 11,2     | 10,0 |
|          | E | 44,0   | 43,6 | 43,3 | 43,2 | 43,0 | 42,9 | 42,6 | 42,2 | 40,9 | 39,6  | 12,6     | 11,2 |
|          | F | 46,0   | 45,5 | 45,3 | 45,1 | 44,9 | 44,8 | 44,5 | 44,1 | 42,7 | 41,3  | 13,9     | 12,4 |
|          | G | 47,9   | 47,4 | 47,2 | 47,0 | 46,8 | 46,7 | 46,4 | 45,9 | 44,5 | 43,1  | 15,4     | 13,7 |
|          | H | 49,9   | 49,4 | 49,1 | 48,9 | 48,6 | 48,6 | 48,3 | 47,8 | 46,3 | 44,8  | 16,7     | 14,9 |

Quadro 5.2.2 – Quadro de desagregação de chuvas diárias proposta por Torrico (1974)

O método das isozonas apresenta diferenças bem significativas quando comparado com o método tradicional, conforme mostra Silva, Kern e Henrique (1989), o que sugere que os resultados obtidos pelo método das isozonas sejam observados com certas restrições.

## **6 – ESTUDO DE CHEIAS**

### **6.1 – Introdução**

A determinação da cheia de projeto, para dimensionamento do sangradouro, pode ser realizada com base em dados históricos de vazão (métodos diretos) e com base na precipitação (métodos indiretos), estando em ambos os casos associados a um risco previamente escolhido. Diante da escassez de registros históricos de vazões, é mais usual a determinação do hidrograma de projeto com base na precipitação.

Em barragens pequenas, onde grandes riscos não estão envolvidos, pode-se utilizar o hidrograma de projeto baseado no último caso. Foram calculadas aqui as cheias de projeto de 100, 1.000 e 10.000 anos.

### **6.2 – Metodologia**

Os métodos estatísticos de obtenção de vazões máximas, que se utilizam séries históricas de vazões observadas, procedimento comum para bacias naturais, não podem ser aplicados pela escassez de dados ou, ainda, sua inexistência. Esta falta de dados dos eventos, na bacia a ser estudada, indica a escolha de métodos de transformação chuva-deflúvio como metodologia a ser adotada.

A metodologia procura descrever as diversas hipóteses de cálculo da cheia de projeto: a escolha da chuva de projeto, o hietograma utilizado, a definição da precipitação efetiva, o hidrograma da cheia na bacia e, por fim, o seu amortecimento no sangradouro.

As relações chuva-deflúvio para a bacia do riacho Oitis foram estabelecidas utilizando-se o modelo HUT, um modelo projetado para simular o escoamento superficial em uma bacia, sendo representada como um sistema de componentes hidrológicos e hidráulicos. Para esta bacia foi estudada a sua resposta ao hietograma de projeto correspondentes a 100, 1.000 e 10.000 anos ( $T_r$  = tempo de retorno).

O modelo adotado permite o uso de várias metodologias para determinação da chuva efetiva, simulação do escoamento superficial em bacia (overland flow) e propagação do escoamento em canais e reservatórios. No caso da bacia do riacho Oitis foi adotado o seguinte:

Método Curva-Número (Soil Conservation Service) na determinação da chuva efetiva;

Método do Soil Conservation Service na determinação do hidrograma unitário sintético - Escoamento Superficial na bacia (Overland flow);

### 6.2.1 – Ajuste da chuva pontual para toda bacia

Para cálculo do escoamento superficial para a bacia da barragem Oitis, foi assumido uma precipitação uniformemente distribuída sobre a referida bacia.

Para se obter a chuva de projeto, reduziu-se o valor pontual para conhecer a precipitação sobre a bacia.

Para isto utilizou-se a equação a seguir, que relaciona um fator de precipitação à área da bacia.

$P_a = P_o (1 - W \log A/A_o)$  , onde :

$P_a$  = Precipitação média sobre a bacia;

$P_o$  = Precipitação no centro de gravidade da bacia;

$W$  = Coeficiente regional, tomada igual 0,15;

$A$  = Área de toda bacia hidrográfica, em km<sup>2</sup>;

$A_o$  = Área base na qual  $P_a = P_o$ ;

Dados:

$W = 0,15$

$A = 34,83 \text{ km}^2$ ;

$A_o = 25,00 \text{ km}^2$ ;

$$\text{Tem-se: } \frac{P_a}{P_o} = 1 - W \log \left( \frac{A}{A_o} \right)$$

$P_a / P_o = 0,97$

No caso em estudo, o fator de conversão encontrado foi de 0,97.

Feito isso, fazemos a conversão de chuva pontual de 1 (um) dia para distribuída ao longo da bacia hidrográfica.

| Tempo de retorno (anos) | Chuva de 1 dia pontual | Fator (Pa/P0) | Chuva de 1 dia distribuída |
|-------------------------|------------------------|---------------|----------------------------|
| 100                     | 146,69                 | 0,97          | 142,28                     |
| 1.000                   | 181,24                 | 0,97          | 175,80                     |
| 10.000                  | 215,73                 | 0,97          | 209,26                     |

**Quadro 6.2.1 – Conversão da chuva pontual em chuva distribuída na bacia hidrográfica.**

### 6.2.2 – Cálculo da chuva virtual de 24h de duração (P24)

Conhecidos os valores de chuva reduzida para 1 dia de duração, ocorrendo de forma distribuída sobre a bacia hidrográfica, para períodos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos (quadro 6.2.1), aplicou-se à metodologia das Isozonas, descrita a seguir:

Converteram-se as chuvas de um dia em chuvas virtuais de 24 horas de duração (P24h), conforme alínea “a” do método das isozonas, multiplica-se as precipitações diárias pelo fator 1,10 que correlaciona às precipitações nas estações pluviométricas com as Isozonas, conforme figura 5.2.2 e quadro 5.2.2, obtém-se as seguintes intensidades.

| CONVERSÃO DE CHUVAS DE 1 DIA PARA VIRTUAL DE 24H |              |       |                     |
|--------------------------------------------------|--------------|-------|---------------------|
| PERÍODO DE RETORNO                               | PONTUAL (MM) | FATOR | VIRTUAL (P24H) (MM) |
| 100                                              | 142,28       | 1,10  | 156,51              |
| 1.000                                            | 175,80       | 1,10  | 193,38              |
| 10.000                                           | 209,26       | 1,10  | 230,19              |

**Quadro 6.2.2– Chuva de 1 dia para virtual de 24h**

Conforme a figura 5.2.2, o posto está localizado na isozona E.

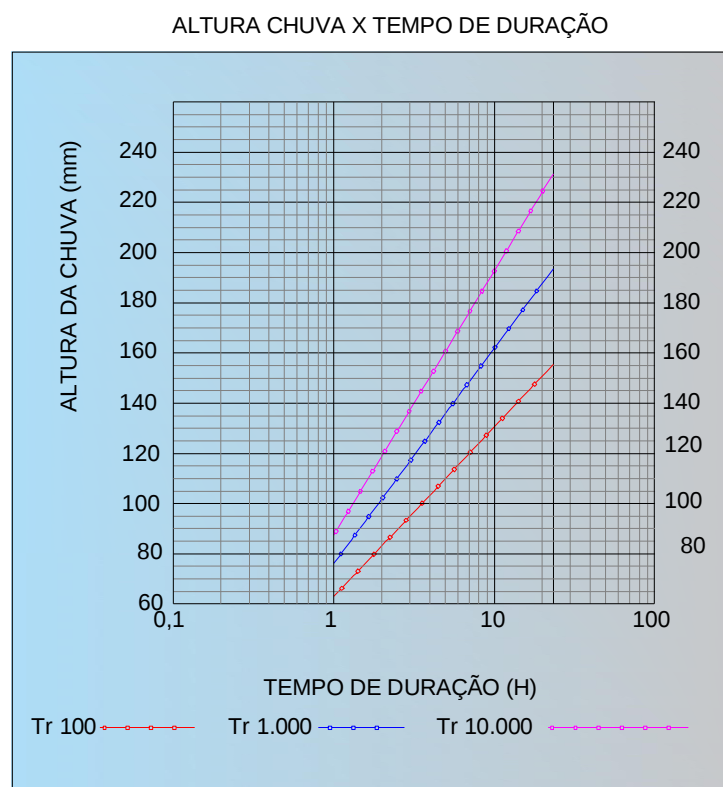
Na tabela no quadro 5.2.2, fixou-se, para a isozona de projeto e para os tempos de recorrência previstos, as percentagens para 1 hora.

A determinação das precipitações intensas pontuais de 1 hora de duração, para os períodos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos, foram obtidas multiplicando-se a chuva de 24 horas (P24h) pela relação R, dessa forma, chegamos as precipitações virtuais de 1 hora de duração.

Os valores de R foram extraídos da figura 5.2.2, correspondente a isozona D. Os valores obtidos constam Quadro 6.2.2.1, a seguir:

| ALTURA DE CHUVAS DE DURAÇÃO DE 1H (UMA HORA) |                        |                         |                    |
|----------------------------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------|
| PERÍODO DE RETORNO (ANOS)                    | PREC. VIRTUAL 24H (MM) | VALOR DE R NA ISOZANA D | VIRTUAL - P1H (MM) |
| 100                                          | 156,51                 | 0,403                   | 63,07              |
| 1.000                                        | 193,38                 | 0,390                   | 75,42              |
| 10.000                                       | 230,19                 | 0,378                   | 87,01              |

**Quadro 6.2.2.1 – Altura de chuvas com duração de 1h.**



**Figura 6.2.2 – Altura de chuva por tempo de duração**

Plotando as chuvas com duração de 1 hora e 24 horas no papel de probabilidades, como demonstrado acima, é possível aferir qualquer altura de chuvas nesse intervalo.

### 6.2.3 – Estudo das cheias pelo Método do Hidrograma Unitário Triangular (HUT) do Soil Conservation Service (SCS)

Esse hidrograma foi determinado para uma precipitação unitária de um milímetro de altura, ocorrendo sobre toda a bacia durante uma duração igual a um quinto do tempo de concentração.

O excesso de precipitação, para o cálculo do hidrograma total, foi calculado através do Método “Curve Number” do ( S C S ). As etapas do cálculo estão descritas a seguir.

### 6.2.3.1 - Tempo de Concentração

Foi estimado através da fórmula do “Califórnia Highways and Public Roads”.

$T_c = 57 (L^3 / H)^{0,385}$  , onde :

$T_c$  = Tempo de concentração da bacia em minutos ;

$L$  = Comprimento do talvegue em Km ;

$H$  = Máximo desnível da bacia medido ao longo de  $L$  em m .

De acordo com Aerofotogrametria do local do Barramento, obteve-se :

$L = 12,47$  km e  $H = 149,01$  m, logo:

$$T_c = 57 \times (12,47^3 / 149,01)^{0,385} = 153,08 \text{ min} \cong 3 \text{ horas}$$

### 6.2.3.2 - Hidrograma Unitário Triangular para Duração $D = 1/5 T_c$

O Hidrograma Unitário Triangular (H U T) tem a forma mostrada na figura 6.2.3.2 O seu cálculo é feito como se segue:

$t_r$  = duração do excesso de chuva

$$t_r = 1/5 T_c = (1/5) \times 3 = 0,6 \text{ horas}$$

$t_p$  = tempo até a vazão de pico

$$t_p = 0,6 T_c + 0,5 t_r = 0,6 \times 3,0 + 0,5 \times 0,60 = 1,78 \text{ horas}$$

$T_b$  = tempo de base do hidrograma

$$T_b = 2,67 t_p = 2,67 \times 2,10 = 4,75 \text{ horas}$$

$q_p$  = vazão de pico do HUT

$$q_p = (2 \times P_e \times A_b) / T_b , \text{ onde :}$$

$P_e$  =excesso de precipitação = 0,001 m

$A_b$  = área da bacia hidrográfica = 34.830.000,00 m<sup>2</sup>

$$q_p = (2 \times 0,001 \times 34.830.000) / (4,75 \times 3.600) = 4,07 \text{ m}^3 / \text{s}$$

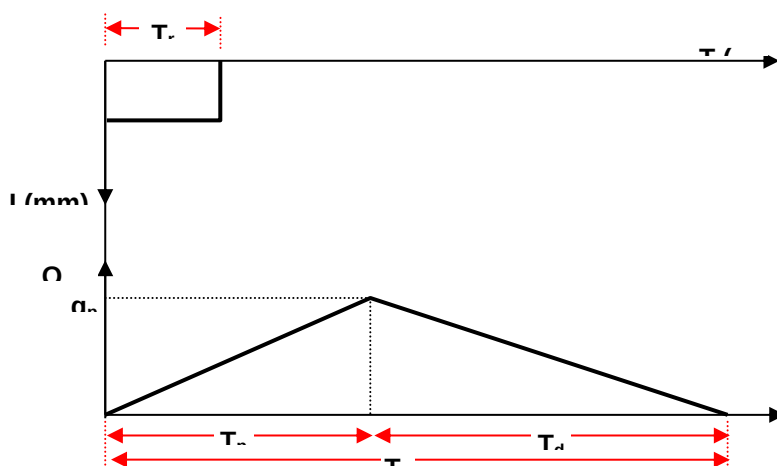


Figura 6.2.3.2 – Diagrama unitário

### 6.2.3.3 - Excesso de Precipitação

O cálculo do excesso de precipitação foi feito através do método “Curve Number” do SCS. A fórmula utilizada foi a seguinte :

$$P_e = (P - 5.080 / N + 50,80)^2 / (P + 20.320 / N - 203,20) , \text{ onde :}$$

$P_e$  = excesso de precipitação em mm

$P$  = precipitação total em mm

$N = 82$  (número de deflúvio que define o complexo solo x vegetação. Fonte: ANA).

A tabela 6.2.3.3 mostra os valores das precipitações totais na área para chuva de 3 horas de duração e diversos períodos de retorno ( $P_{3h}$ ), e as precipitações efetivas ( $P_e$ ) calculadas através da fórmula anterior.

| PRECIPITAÇÃO EFETIVA                                                          |           |               |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------|
| PERÍODO DE RETORNO                                                            | PREC. 3 H | PRECIP. EFET. |
| 100                                                                           | 95,00     | 50,36         |
| 1.000                                                                         | 117,00    | 69,33         |
| 10.000                                                                        | 137,00    | 87,21         |
| OBS: O VALOR DA PRECIPITAÇÃO DE 3H FOI OBTIDO NO QUADRO DE CHUVAS LOGARÍTIMA. |           |               |

Quadro 6.2.3.3 – Precipitação efetiva da chuva de 3 h ( $T_c$ )

### 6.2.3.4 - Hidrograma Total Afluente

Calculou-se o hidrograma das cheias para as chuvas de períodos de retorno de 100, 1.000 e 10.000 anos, multiplicando-se as ordenadas do hidrograma obtido pela relação  $P_e(T)$ ,

conforme o Quadro 6.2.3.4 – Hidrograma das cheias, onde  $P_e(T)$  é a precipitação excedente correspondente ao período de retorno  $T$ .

| Hidrograma das cheias – Volume Afluente (m <sup>3</sup> /s) |                        |                                        |                                         |                                           |
|-------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|
| TEMPO<br>(HORAS)                                            | HIDROGRAMA<br>UNITÁRIO | Período de retorno                     |                                         |                                           |
|                                                             |                        | TR=100anos<br>( $P_e=40,93\text{mm}$ ) | TR=1000anos<br>( $P_e=58,35\text{mm}$ ) | TR=10.000anos<br>( $P_e=75,07\text{mm}$ ) |
| 0                                                           | 0                      | 0                                      | 0                                       | 0                                         |
| 0,25                                                        | 0,41                   | 20,69                                  | 28,48                                   | 35,83                                     |
| 0,5                                                         | 0,82                   | 41,38                                  | 56,97                                   | 71,66                                     |
| 0,75                                                        | 1,23                   | 62,07                                  | 85,45                                   | 107,49                                    |
| 1                                                           | 1,64                   | 82,76                                  | 113,93                                  | 143,32                                    |
| 1,25                                                        | 2,05                   | 103,45                                 | 142,42                                  | 179,15                                    |
| 1,5                                                         | 2,47                   | 124,14                                 | 170,90                                  | 214,98                                    |
| 1,75                                                        | 2,88                   | 144,83                                 | 199,38                                  | 250,81                                    |
| 2                                                           | 3,29                   | 165,52                                 | 227,87                                  | 286,64                                    |
| <b>2,1</b>                                                  | <b>3,45</b>            | <b>173,80</b>                          | <b>239,26</b>                           | <b>300,97</b>                             |
| 2,25                                                        | 3,30                   | 166,36                                 | 229,03                                  | 288,10                                    |
| 2,5                                                         | 3,06                   | 153,97                                 | 211,97                                  | 266,64                                    |
| 2,75                                                        | 2,81                   | 141,59                                 | 194,91                                  | 245,19                                    |
| 3                                                           | 2,57                   | 129,20                                 | 177,86                                  | 223,73                                    |
| 3,25                                                        | 2,32                   | 116,81                                 | 160,80                                  | 202,28                                    |
| 3,5                                                         | 2,07                   | 104,42                                 | 143,75                                  | 180,82                                    |
| 3,75                                                        | 1,83                   | 92,03                                  | 126,69                                  | 159,37                                    |
| 4                                                           | 1,58                   | 79,64                                  | 109,63                                  | 137,91                                    |
| 4,25                                                        | 1,34                   | 67,25                                  | 92,58                                   | 116,46                                    |
| 4,5                                                         | 1,09                   | 54,86                                  | 75,52                                   | 95,00                                     |
| 4,75                                                        | 0,84                   | 42,47                                  | 58,47                                   | 73,55                                     |
| 5                                                           | 0,60                   | 30,08                                  | 41,41                                   | 52,09                                     |
| 5,25                                                        | 0,35                   | 17,69                                  | 24,36                                   | 30,64                                     |
| 5,5                                                         | 0,11                   | 5,30                                   | 7,30                                    | 9,18                                      |

Quadro 6.2.3.4 – Hidrograma das cheias

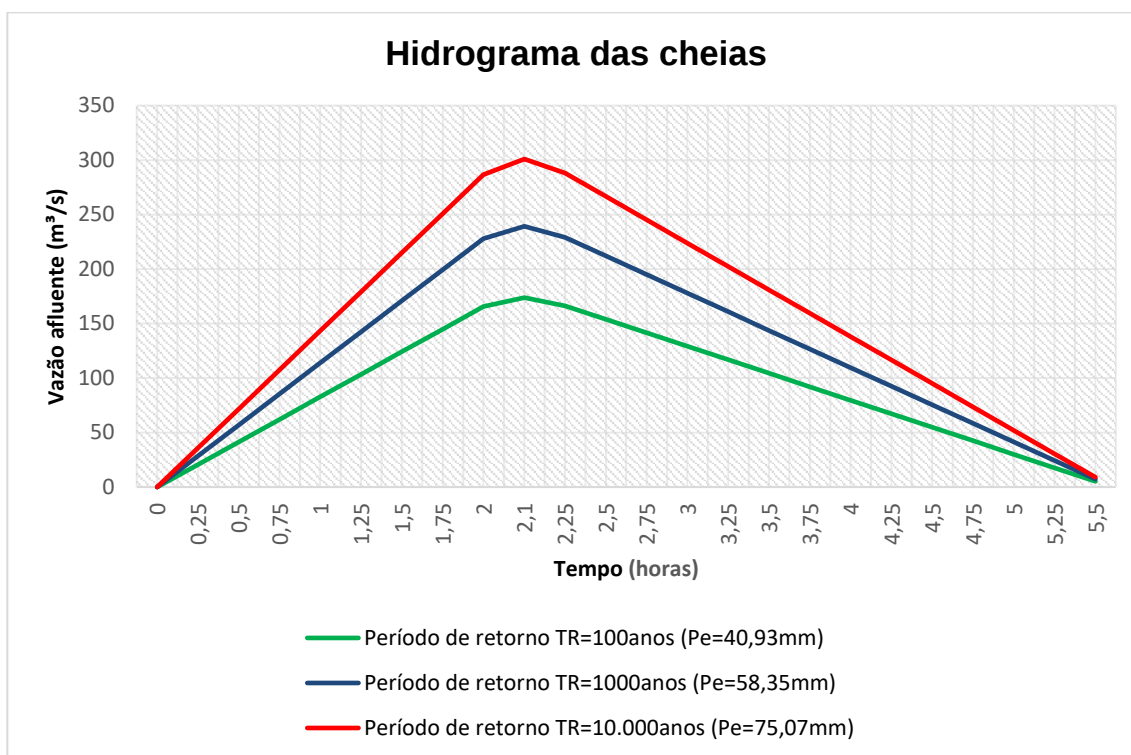


Figura 6.2.3.4 -Gráfico representativo da vazão afluente com recorrências.

O gráfico acima representa a demonstração gráfica do quadro de distribuição do Diagrama Triangular Unitário para cálculo da vazão máxima afluente. O tempo de pico, com 2,1 horas de duração, representa o tempo máximo ascendente em que a vazão no exultório se eleva até iniciar seu declínio.

### 6.3 - Volume afluente

Para determinação do volume afluente anual, utilizou-se a metodologia do Engº Aguiar, conforme expressão abaixo.:

$$Va = R(\%)HUA/100$$

R(%) – rendimento em percentagem;

H – precipitação média anual (m);

U – coeficiente de correção;

A – área da bacia hidrográfica (m²)

#### 6.3.1 – Rendimento pluvial da bacia

O rendimento pluvial da bacia pode ser determinado através da seguinte equação, indicada para alturas de chuvas superiores a 1.000mm/ano:

$$R(\%) = 2,853 - 11,295H + 35,191H^2 - 11,874H^3$$

Onde:

H = precipitação média anual em m (1,261m)

Então:

$$R\% = 2,853 - 11,295 \times 1,261 + 35,191 \times 1,261^2 - 11,874 \times 1,261^3$$

$$R\% = 20,76$$

O rendimento superficial da bacia (R%) calculado é de 20,76%.

### 6.3.2 – Volume afluente escoado.

$$V_a = R \times H \times U \times A$$

Onde: R = Rendimento = 0,2076

$$H = \text{Precipitação Média Anual Máxima (m)} = 1.261,00\text{mm} = 1,261 \text{ m}$$

$$U = \text{Coeficiente de correção} = 0,8$$

$$A = \text{Área da bacia hidrográfica total} = 34.830.000\text{m}^2$$

$$V_a = R \times H \times U \times A$$

$$V_a \approx 7.294.338,23 \text{ m}^3/\text{ano}$$

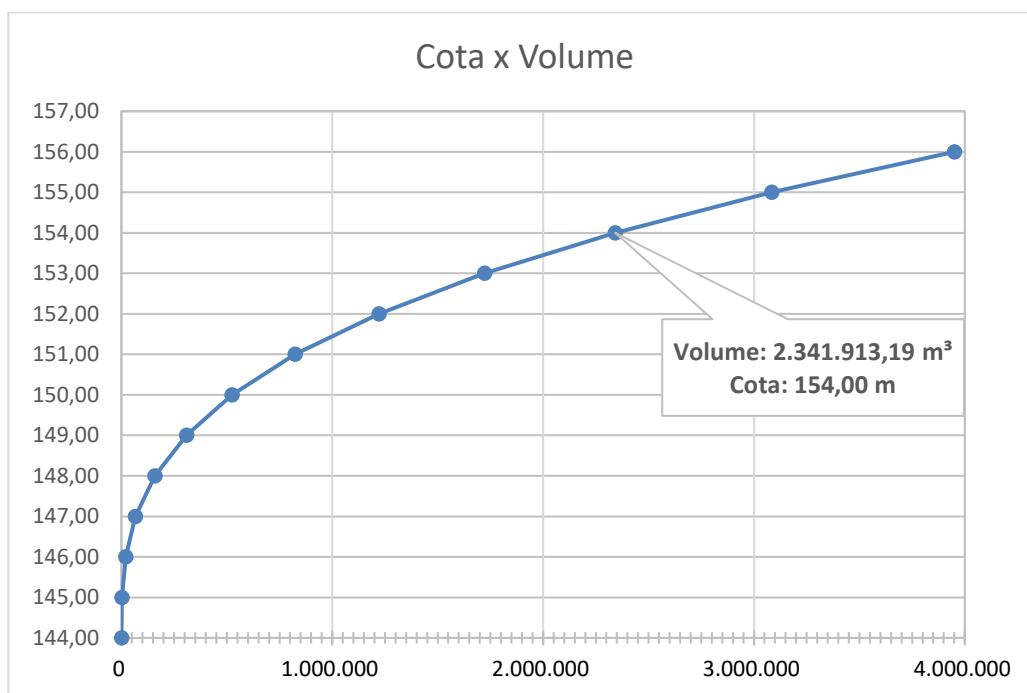
### 6.3.3 – Volume de acumulação do reservatório

O diagrama Cota x Área x Volume e o valor do volume médio afluente anual calculado constituem os parâmetros básicos para a determinação da capacidade de acumulação do reservatório.

Se a topografia do local barrado permitir, pode-se adotar um volume de acumulação próximo de 2 vezes o volume médio afluente anual calculado. Dessa forma, o reservatório terá uma tendência de enchimento maior.

A barragem Oitis tem como limitação construtiva a topografia da região, por se situar numa região bastante habitada, com várias construções entorno e pela diferença de altura das ombreiras.

Assim, determina-se a capacidade do reservatório, definindo sua cota de armazenamento máximo, através do diagrama Cota x Área x Volume apresentado no Quadro 6.3.3 e Figura 6.3.3 a seguir.



**Figura 6.3.3 – Representação gráfica da cota x volume**

| <b>COTA X VOLUME - AÇUDE OITIS - MUCAMBO-CE</b> |             |                       |                         |
|-------------------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------------------|
| <b>COTA</b>                                     | <b>ÁREA</b> | <b>VOLUME PARCIAL</b> | <b>VOLUME ACUMULADO</b> |
| 144,00                                          | 0,00        |                       | 0,00                    |
| 145,00                                          | 5.345,26    | 2.672,63              | 2.672,63                |
| 146,00                                          | 28.814,00   | 17.079,63             | 19.752,26               |
| 147,00                                          | 64.676,18   | 46.745,09             | 66.497,35               |
| 148,00                                          | 118.636,40  | 91.656,29             | 158.153,64              |
| 149,00                                          | 182.027,05  | 150.331,73            | 308.485,37              |
| 150,00                                          | 249.699,08  | 215.863,07            | 524.348,43              |
| 151,00                                          | 350.088,72  | 299.893,90            | 824.242,33              |
| 152,00                                          | 443.670,08  | 396.879,40            | 1.221.121,73            |
| 153,00                                          | 559.803,21  | 501.736,64            | 1.722.858,37            |
| 154,00                                          | 678.306,44  | 619.054,82            | <b>2.341.913,19</b>     |
| 155,00                                          | 805.187,65  | 741.747,05            | 3.083.660,24            |
| 156,00                                          | 929.072,24  | 867.129,94            | 3.950.790,18            |

**Quadro 6.3.3 – Cota volume do reservatório**

## 7 – DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO DO RESERVATÓRIO

### 7.1 – Metodologia

O dimensionamento hidrológico do Açude Oitis foi determinado com base no método de Campos, 1987.

O referido método apresenta um modelo gráfico aplicado a reservatórios de águas superficiais situadas em regiões semi-áridas e sujeitas a altas taxas de evaporação. Tem como suporte teórico a Teoria Estocástica dos Reservatórios ou Teoria do Armazenamento de Moran. Segundo o autor, esse método apresenta como novidade na teoria a introdução de uma matriz de evaporação por levar em conta as perdas devido a esse fenômeno.

O modelo gráfico contempla as seguintes variáveis: capacidade do reservatório, volume anual regularizado e probabilidade de esvaziamento da reserva. As variáveis de entrada do modelo são: volume afluente médio anual, coeficiente de variação dos deflúvios anuais, lâmina de evaporação e um fator que representa a forma da bacia hidráulica.

O traçado das curvas de regulação inclui: volumes evaporados (E), liberado (M) e sangrado (S) versus capacidade (K) e  $dM/dK$  versus K.

## 7.2 – Lâmina de evaporação

Devido à falta de dados de evaporação do espelho d'água foram obtidos os valores de evapotranspiração através do site da COGERH, para a Estação de Sobral, conforme se apresentam no quadro 7.2 a seguir:

| MESES              | EVAPOTRANSPIRAÇÃO<br>( mm ) |
|--------------------|-----------------------------|
| JANEIRO            | 107,57                      |
| FEVEREIRO          | 114,45                      |
| MARÇO              | 118,61                      |
| ABRIL              | 113,61                      |
| MAIO               | 90,75                       |
| JUNHO              | 67,89                       |
| JULHO              | 31,28                       |
| AGOSTO             | 10,02                       |
| SETEMBRO           | 7,91                        |
| OUTUBRO            | 5,62                        |
| NOVEMBRO           | 7,48                        |
| DEZEMBRO           | 13,66                       |
| <b>TOTAL ANUAL</b> | <b>689,03</b>               |

Quadro 7.2 – Taxa de evapotranspiração anual na estação de Sobral. Fonte COGERH

Sendo:

- A lâmina média anual evaporada é de 688,98mm.
- A lâmina evaporada durante a estação seca é de 143,86 mm.

### 7.3 Fator de Forma da Bacia ( $\alpha$ )

O fator de forma da bacia hidráulica é calculado através da seguinte equação:

$V = \alpha \times h^3$ , onde:

V = volume acumulado até a altura d'água h

h = altura da lâmina d'água

$\alpha$  = fator de forma da bacia hidráulica

O valor do fator de forma da bacia hidráulica da Barragem Oitis ( $\alpha$ ) pode ser obtido aproximadamente pela equação:

$\alpha = (\sum V_i) / (\sum h_i^3)$ , onde :

$V_i$  e  $h_i$  representam os pares de valores Altura d'Água versus Volume, apresentados na tabela 7.3:

| COTA X ALTURA     |             |                   |                                  |
|-------------------|-------------|-------------------|----------------------------------|
| COTA              | ALTURA (hi) | (hi) <sup>3</sup> | VOL. ACUMULADO (m <sup>3</sup> ) |
| 144,00            | 0,00        |                   | 0,00                             |
| 145,00            | 1,00        | 1,00              | 2.672,63                         |
| 146,00            | 2,00        | 8,00              | 19.752,26                        |
| 147,00            | 3,00        | 27,00             | 66.497,35                        |
| 148,00            | 4,00        | 64,00             | 158.153,64                       |
| 149,00            | 5,00        | 125,00            | 308.485,37                       |
| 150,00            | 6,00        | 216,00            | 524.348,43                       |
| 151,00            | 7,00        | 343,00            | 824.242,33                       |
| 152,00            | 8,00        | 512,00            | 1.221.121,73                     |
| 153,00            | 9,00        | 729,00            | 1.722.858,37                     |
| 154,00            | 10,00       | 1.000,00          | <b>2.341.913,19</b>              |
| <b>Somatórios</b> |             | <b>3.025,00</b>   | <b>7.190.045,29</b>              |

Quadro 7.3 – Altura x volume

Para o Açude Oitis, considerando-se os pares de valores do Quadro 7.3 somente até a cota do sangradouro (cota 154), obteve-se  $\alpha = 2376,87$

$$\alpha = \frac{\sum_{H=144,00}^{V=2341,913,19} V_i}{\sum_{H=144,00}^{V=2341,913,19} H_i^3} = \frac{7.190.045,29}{3.025,00} = \mathbf{2.376,87}.$$

#### 7.4 - Fator Adimensional de Evaporação ( Fe )

$$F_e = \frac{3\alpha^{1/3} E_v}{\mu^{1/3}}, \text{ onde:}$$

Ev = lâmina evaporada durante a estação seca = 143,86mm

$\mu$  = volume afluente anual = 7.294.338,23 m<sup>3</sup>

$\alpha$  = 237,40

**Logo:**

$$F_e = \frac{3 \times (2.376,87)^{1/3} \times 0,144}{(7.294.338,23)^{1/3}} = 0,030$$

#### 7.5 - Relação Volume Regularizado X Capacidade de Reserva

De posse dos parâmetros obtidos, calculou-se, usando a metodologia do Professor Nilson Campos, através da determinação no Diagrama Triangular de Regularização, a relação entre o volume regularizado e a capacidade do reservatório, com 90% de garantia.

- Fe= fator de evaporação = 0,03;
- Cv = coeficiente de variação dos valores dos deflúvios anuais = 0,30;
- Va = volume afluente médio anual = 7.294.338,23 m<sup>3</sup>;

Outro parâmetro necessário para o uso do DTR é o fator Fk, dado por:

$$F_k = \frac{V_{\text{acumulado}}}{V_{\text{afluente}}}, \text{ onde:}$$

Vacumulado = Volume acumulado na cota considerada;

Vafluente = Volume afluente anual calculado.

No DTR (figura 7.5), a partir do par de valores: (Fe; Fk), traçam-se por este ponto, paralelas aos lados do triângulo obtendo-se os percentuais dos volumes acumulados em cada cota, para os volumes liberados, sangrados e evaporados.

Embora o coeficiente de variação dos deflúvios do açude Oitis tenha sido calculado em 0,30 o Diagrama Triangular de Regularização usado nos cálculos foi o de Cv = 0,60, o mais próximo apresentado no trabalho do Profº Nilson Campos.

Os resultados obtidos estão apresentados no Quadro 7.5, a seguir:

| COTA | VOLUMES ACUMULADOS (m³) | $F_k = \frac{V_{\text{acumulado}}}{V_{\text{afluente}}}$ | % LIBERADO | % SANGRADO | % EVAPORADO |
|------|-------------------------|----------------------------------------------------------|------------|------------|-------------|
| 154  | 2.341.913,19            | 0,32                                                     | 15,00      | 83,00      | 2,00        |
| 155  | 3.083.660,24            | 0,42                                                     | 22,00      | 76,00      | 2,00        |
| 156  | 3.950.790,18            | 0,54                                                     | 24,00      | 74,00      | 2,00        |

Quadro 7.5 – Percentuais do volume acumulado através do DTR para simulação do reservatório

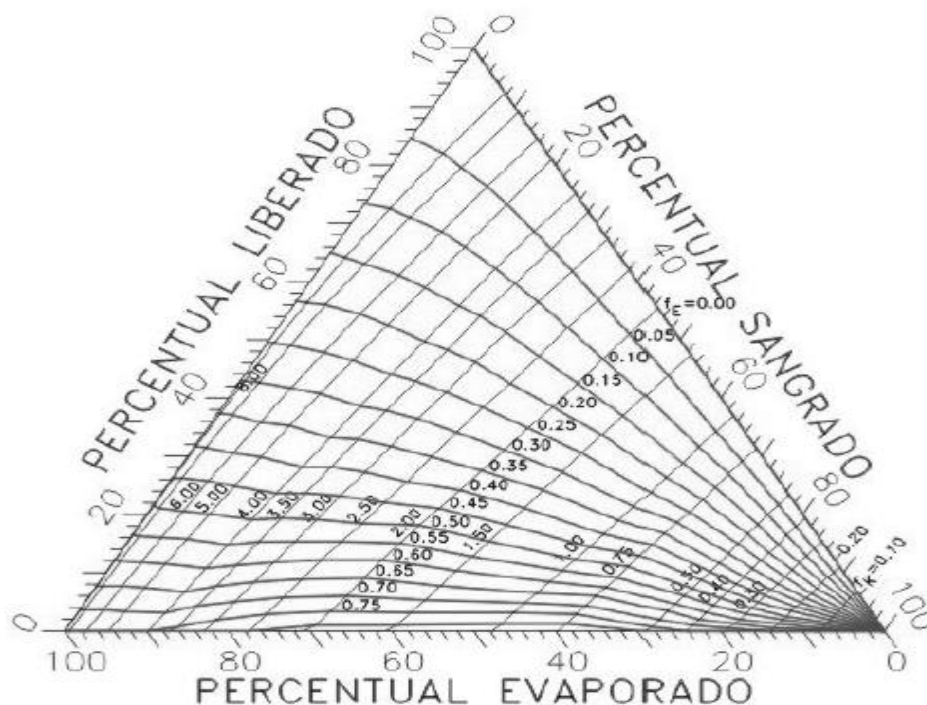


Figura 7.5 – Diagrama Triangular de Regularização

A partir dos dados do quadro 7.5, determinam-se as relações entre a capacidade do reservatório e o volume regularizado, conforme o quadro 7.6, a seguir:

| COTA | VOLUMES ACUMULADOS (m³) | VOLUMES REGULARIZADOS 90% (m³) | VOLUMES SANGRADOS(m³) | VOLUMES EVAPORADOS(m³) | VAZÕES REGULARIZADAS 90% (m³/s/ano) |
|------|-------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------------|
| 154  | 2.341.913,19            | 1.094.150,73                   | 6.054.300,73          | 145.886,76             | 0,035                               |
| 155  | 3.083.660,24            | 1.604.754,41                   | 5.543.697,05          | 145.886,76             | 0,051                               |
| 156  | 3.950.790,18            | 1.750.641,18                   | 5.397.810,29          | 145.886,76             | 0,056                               |

Quadro 7.6 – Relação entre a capacidade do reservatório e o volume regularizado

Portanto, para a alternativa estudada com o sangradouro na cota 154,00, acumulando 2.341.913,19 m³, a vazão regularizada anualmente é de 0,035 m³/s, o que corresponde a cerca de 1.094.150,73 m³ por ano, cerca de 46% da capacidade do reservatório.

## 8. - ESTUDO DE PROPAGAÇÃO DE ENCHENTES

Alterando-se a vazão de entrada de um reservatório de acumulação, a vazão de saída é instantaneamente alterada do mesmo valor. O nível d'água tende a manter-se horizontal e o acréscimo de vazão na entrada é traduzido em uma elevação da superfície líquida.

Conhecendo-se a hidrógrafa da vazão afluente, a relação entre a altura d'água e o volume do reservatório, e sabendo-se que a vazão efluente é dada pela lei dos vertedouros:  $Q_e = C_o L h^{3/2}$ , pode-se determinar a hidrógrafa efluente.

$Q_e$  – vazão de descarga ou vazão efluente ( $m^3/s$ );

$C_o$  – coeficiente de descarga (varia com os dados do vertedouro);

$L$  – largura do vertedouro (m);

$h$  – lâmina de sangria

### 8.1 - Metodologia

Um método para avaliar o processo de propagação de onda de cheia em reservatórios foi desenvolvido por LG.Puls, do Army Corps of Engineers, EUA. De forma sucinta, a metodologia utilizada no cálculo, é descrita a seguir:

Considere a equação da continuidade:

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

$I$  = vazão de entrada

$O$  = vazão de saída

$\frac{dS}{dt}$  = variação no volume do reservatório no intervalo de tempo  $\Delta t$

A equação 1 pode ser expressa em forma finita como:

$$S_2 - S_1 = \left( \frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} \right) \Delta t$$

$$\frac{2S_2}{\Delta t} - \frac{2S_1}{\Delta t} = (I_1 + I_2) - (O_1 + O_2)$$

$$\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2 = \left( \frac{2S_1}{\Delta t} - O_1 \right) + (I_1 + I_2) \quad (\text{equação 2})$$

Os índices 1 e 2 se referem aos valores do início e final do intervalo de tempo  $\Delta t$ . O intervalo de tempo  $\Delta t$ , é chamado de período de routing.

A solução da equação 2 requer uma curva de Routing, mostrando  $\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2$  versus  $O_1$ .

Todos os termos do lado esquerdo da equação 2 são conhecidos e o valor de  $\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2$  pode ser calculado. O valor correspondente de  $O_2$  pode ser obtido da curva de routing. O cálculo é então repetido para períodos de routing sucessivos.

### 8.1.1 - Dados

a) Lei dos vertedouros:  $Q_e = C_0 L h^{3/2}$ ;

$Q_e$  – vazão de descarga ou vazão efluente ( $m^3/s$ );

$C_0$  – coeficiente de descarga (varia com os dados do vertedouro);

$L$  – largura do vertedouro (m);

$h$  – lâmina de sangria

b) Relação entre a lâmina de sangria e o volume de acumulação do reservatório, figura 8.1.1.

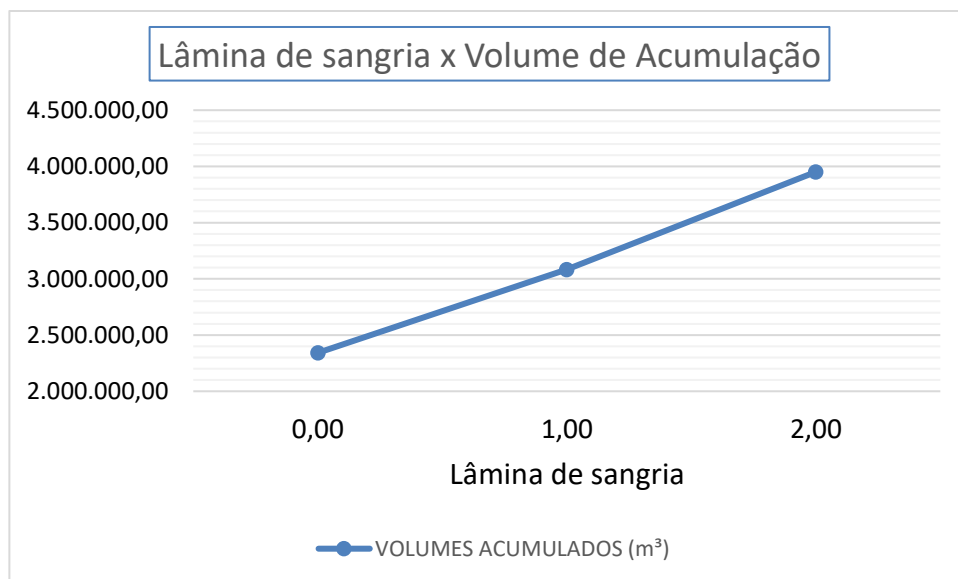


Figura 8.1.1 – Lâmina de sangria x volume de acumulação

c) Largura do sangradouro = 50,00m

d) Intervalo de tempo: 1 hora = 3.600s

e) Coeficiente de descarga:  $2,18 \text{ m}^{1/2}.\text{s}^{-1}$  (parede delgada - Perfil Creager), conforme o gráfico da figura 8.1.2 a seguir, orientado pelo Bureau of Reclamation, em função da altura do vertedouro (p) e a lâmina máxima de sangria ( $H_0$ ).

Verifica-se na figura 8.1.2 que, para valores de  $p/H_0 >$  ou igual a 3,00,  $C_0$  assume o valor de  $3,95\text{ft}^{1/2}.\text{s}^{-1}$  ou  $C_0 = 2,18\text{m}^{1/2}.\text{s}^{-1}$ .

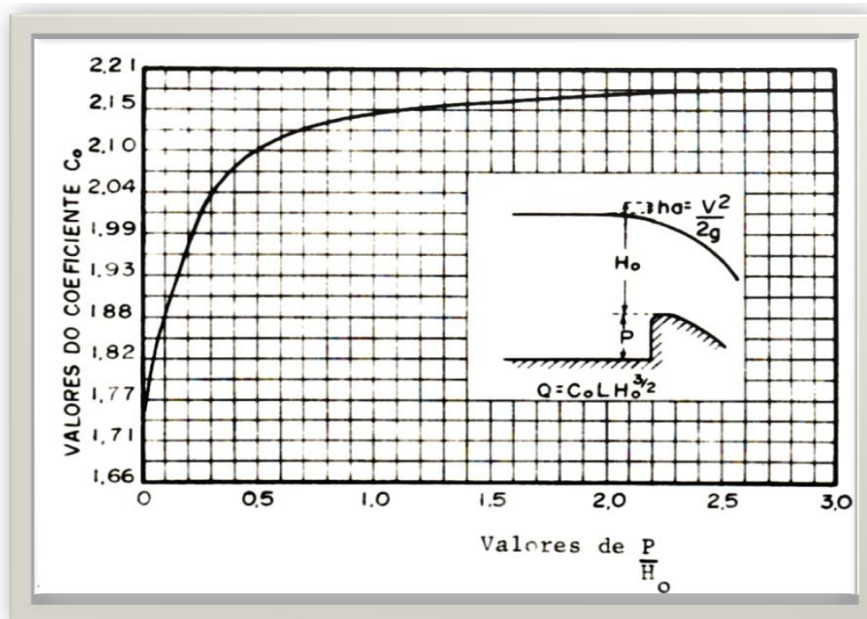


Figura 8.1.1a – Coeficiente de descarga  $C_0$

### 8.1.2 - Determinação da Hidrógrafa Efluente

Para determinação da hidrógrafa da vazão efluente utiliza-se o seguinte procedimento:

a) Determinação do gráfico  $\frac{2S}{\Delta t} + O \times O$

Sendo:

$$O = C_0 L (\Delta H)^{3/2}$$

$O$  = vazão de sangria;

$\Delta H$  = altura da lâmina acima da cota de sangria

$S$  = volume de acréscimo correspondente a  $\Delta H$

A partir do volume de acréscimo correspondente a  $\Delta H$ , calcula-se  $\frac{2S}{\Delta t} + O$ , conforme Quadro 8.1.2 a seguir:

| COTA | VOLUME DE ACUMULAÇÃO | LÂMINA DE SANGRIA | VOLUME DE SANGRIA | VAZÃO DE SANGRIA | $(2S/\Delta t) + O(m^3)$ |
|------|----------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------------|
|      | (m³)                 | (m)               | S (m³)            | O (m³)           |                          |
| 154  | 2.341.913,19         | 0                 | 0                 | 0                | 0                        |
| 155  | 3.083.660,24         | 1                 | 741.747,05        | 109,00           | 521,08                   |
| 156  | 3.950.790,18         | 2                 | 1.608.876,99      | 308,30           | 1.202,12                 |

Quadro 8.1.2 – Tabela para determinação do gráfico de Routing

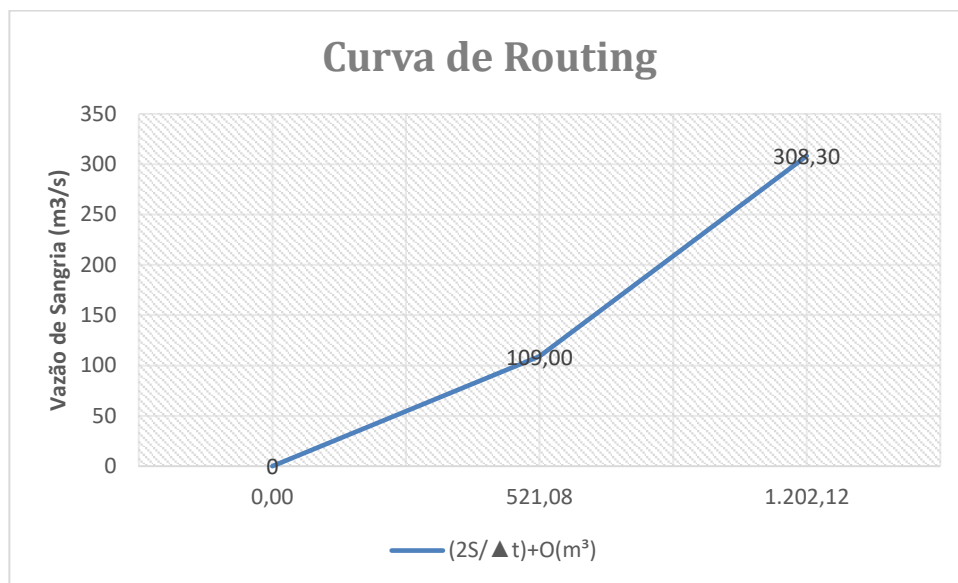


Figura 8.1.2 – Gráfico da curva de Routing

A curva gerada em função de  $\frac{2S}{\Delta t} + O \times O$  é do tipo:  $O = a \left( \frac{2S}{\Delta t} + O \right)^b$ .

Chamando:  $\frac{2S}{\Delta t} + O = Q$ , tem-se:

$$O = a Q^b$$

Pode-se dizer que:

$$\log O = \log a + b \log Q$$

b.1) Determinação dos coeficientes a e b:

Chamando, para facilitar os cálculos:

$$Y = \log O$$

$$A = \log a$$

$$B = b$$

X = log Q, tem-se:

$$B = \frac{\sum x.y - \frac{\sum x.\sum y}{N}}{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}} \quad (\text{equação 3})$$

$$A = \bar{y} - B \bar{x} \quad (\text{equação 4})$$

onde :

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{N} \text{ e } \bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

N - número de dados

O número de dados é determinado pelo volume máximo de sangria, que corresponde aproximadamente ao volume afluente anual. Nesta hipótese, os dados serão considerados até a cota 156, como explicado anteriormente, correspondendo a um número de dados igual a 3. A curva de nível na cota 157 não está fechada pelo levantamento topográfico, logo não poderão ser utilizadas as curvas a partir dessa altitude.

| COTA              | VAZÃO DE SANGRIA | (2S/▲t)+O | Y = log O   | X=log (2S/▲t)+O | X.Y            | X²           |
|-------------------|------------------|-----------|-------------|-----------------|----------------|--------------|
|                   | O (m³)           | (m³)      |             |                 |                |              |
| 154               | 0                | 0         | 0           | 0               | 0              | 0            |
| 155               | 109              | 521,08    | 2,03        | 2,71            | 5,50           | 7,34         |
| 156               | 308,3            | 1.202,12  | 2,48        | 3,07            | 7,61           | 9,42         |
| <b>SOMATÓRIOS</b> |                  |           | <b>4,51</b> | <b>5,78</b>     | <b>13,1149</b> | <b>16,77</b> |

Quadro 8.1.2a – Determinação dos coeficientes da curva de routing

Substituindo os valores dos somatórios nas equações 3 e 4, tem-se:

$$B = 0,786$$

$$A = -0,010411$$

Sendo:

$$b = B = 0,786$$

$$\log a = A = -0,010411$$

$$a = 10^A = 10^{-0,010411}$$

$$a = 0,96825$$

Portanto, a equação de routing será:

$$O = 0,96825 \left( \frac{2S}{\Delta t} + O \right)^{0,786}$$

O cálculo das vazões, para cada o intervalo de tempo  $\Delta t$ , pode ser computado num quadro, cujas as colunas podem ser expressas como se seguem:

- Coluna 1: intervalo de tempo  $\Delta t$  de vazão observada;
- Coluna 2: vazão afluente observada no tempo  $\Delta t$  (hidrograma calculado);
- Coluna 3, linha<sub>(i+1)</sub> : (Coluna 4, linha <sub>i</sub>) - 2x(Coluna 5, linha <sub>i</sub>);
- Coluna 4, linha <sub>i</sub>: (Coluna 2, linha <sub>(i+1)</sub>) + (Coluna 2, linha <sub>i</sub>) + (Coluna 3, linha <sub>i</sub>);
- Coluna 5, linha <sub>i</sub>:  $O_i = 0,8256(\text{Coluna 4, linha } i)^{0,8676}$

Os Quadros 8.1.2b e 8.1.2c, a seguir, apresentam o cálculo das vazões efluentes, para período de retorno igual a 1.000 e 10.000 anos, respectivamente.

| 1                   | 2                     | 3                                                    | 4                                                    | 5                                                    |
|---------------------|-----------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| TEMPO Dt<br>(Horas) | VAZÃO DE<br>ENTRADA   | $\frac{2S_1}{\Delta t} + O_1 \text{ (m}^3/\text{s)}$ | $\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2 \text{ (m}^3/\text{s)}$ | VAZÃO DE<br>SAÍDA(m <sup>3</sup> /s)                 |
|                     | I (m <sup>3</sup> /s) |                                                      |                                                      | $O = a \left( \frac{2S_2}{\Delta t} + O_2 \right)^b$ |
|                     | TR=1.000<br>anos      |                                                      |                                                      |                                                      |
| 0                   | 0                     | 0,00                                                 | 28,48                                                | 13,46                                                |
| 0,25                | 28,48                 | 1,56                                                 | 87,01                                                | 32,39                                                |
| 0,5                 | 56,97                 | 22,23                                                | 164,65                                               | 53,48                                                |
| 0,75                | 85,45                 | 57,69                                                | 257,07                                               | 75,9                                                 |
| 1                   | 113,93                | 105,27                                               | 361,62                                               | 99,25                                                |
| 1,25                | 142,42                | 163,12                                               | 476,43                                               | 123,28                                               |
| 1,5                 | 170,90                | 229,87                                               | 600,16                                               | 147,8                                                |
| 1,75                | 199,38                | 304,56                                               | 731,80                                               | 172,74                                               |
| 2                   | 227,87                | 386,32                                               | 853,45                                               | 194,93                                               |
| 2,1                 | 239,26                | 463,59                                               | 931,87                                               | 208,88                                               |
| 2,25                | 229,03                | 514,11                                               | 955,11                                               | 212,96                                               |
| 2,5                 | 211,97                | 529,19                                               | 936,07                                               | 209,62                                               |
| 2,75                | 194,91                | 516,83                                               | 889,60                                               | 201,39                                               |
| 3                   | 177,86                | 486,82                                               | 825,48                                               | 189,89                                               |
| 3,25                | 160,80                | 445,70                                               | 750,25                                               | 176,15                                               |
| 3,5                 | 143,75                | 397,95                                               | 668,38                                               | 160,86                                               |
| 3,75                | 126,69                | 346,66                                               | 582,99                                               | 144,47                                               |

|      |        |        |        |        |
|------|--------|--------|--------|--------|
| 4    | 109,63 | 294,05 | 496,26 | 127,29 |
| 4,25 | 92,58  | 241,68 | 409,79 | 109,51 |
| 4,5  | 75,52  | 190,77 | 324,76 | 91,21  |
| 4,75 | 58,47  | 142,34 | 242,21 | 72,43  |
| 5    | 41,41  | 97,35  | 163,12 | 53,09  |
| 5,25 | 24,36  | 56,94  | 88,60  | 32,85  |
| 5,5  | 7,30   | 22,90  | 30,20  |        |

**Quadro 8.1.2b – Descarga efluente para 1.000 anos de recorrência**

De acordo com as descargas efluentes, tempos que para um período de retorno igual a 1.000 anos, a descarga máxima é de aproximadamente 233,82 m<sup>3</sup>/s.

A lâmina máxima milenar será de:

$$Q = C_o L H^{3/2}$$

$$H = \left( \frac{Q}{C_o L} \right)^{2/3} = \left( \frac{233,82}{2,18 \times 50,00} \right)^{2/3} = 1,56m$$

| 1                   | 2                     | 3                                                 | 4                                                 | 5                                              |
|---------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| TEMPO Dt<br>(Horas) | VAZÃO DE<br>ENTRADA   | $\frac{2S_1}{\Delta t} + O_1$ (m <sup>3</sup> /s) | $\frac{2S_2}{\Delta t} + O_2$ (m <sup>3</sup> /s) | VAZÃO DE<br>SAÍDA(m <sup>3</sup> /s)           |
|                     | I (m <sup>3</sup> /s) |                                                   |                                                   | $O=a\left(\frac{S_2}{\Delta t} + O_2\right)^b$ |
|                     | TR=10.000<br>anos     |                                                   |                                                   |                                                |
| 0                   | 0                     | 0                                                 | 35,830                                            | 16,12                                          |
| 0,25                | 35,83                 | 3,59                                              | 111,078                                           | 39,25                                          |
| 0,5                 | 71,66                 | 32,58                                             | 211,726                                           | 65,16                                          |
| 0,75                | 107,49                | 81,41                                             | 332,213                                           | 92,85                                          |
| 1                   | 143,32                | 146,51                                            | 468,979                                           | 121,76                                         |
| 1,25                | 179,15                | 225,46                                            | 619,585                                           | 151,55                                         |
| 1,5                 | 214,98                | 316,48                                            | 782,269                                           | 182,03                                         |
| 1,75                | 250,81                | 418,21                                            | 955,653                                           | 213,06                                         |
| 2                   | 286,64                | 529,53                                            | 1117,138                                          | 240,87                                         |
| 2,1                 | 300,97                | 635,40                                            | 1237,335                                          | 261,02                                         |
| 2,25                | 300,97                | 715,29                                            | 1304,358                                          | 272,07                                         |
| 2,5                 | 288,10                | 760,22                                            | 1314,955                                          | 273,81                                         |
| 2,75                | 266,64                | 767,33                                            | 1279,161                                          | 267,93                                         |
| 3                   | 245,19                | 743,30                                            | 1212,218                                          | 256,85                                         |
| 3,25                | 223,73                | 698,52                                            | 1124,525                                          | 242,13                                         |
| 3,5                 | 202,28                | 640,27                                            | 1023,363                                          | 224,83                                         |
| 3,75                | 180,82                | 573,70                                            | 913,891                                           | 205,7                                          |
| 4                   | 159,37                | 502,49                                            | 799,769                                           | 185,23                                         |

|      |        |        |         |        |
|------|--------|--------|---------|--------|
| 4,25 | 137,91 | 429,31 | 683,677 | 163,74 |
| 4,5  | 116,46 | 356,20 | 567,656 | 141,48 |
| 4,75 | 95,00  | 284,70 | 453,245 | 118,54 |
| 5    | 73,55  | 216,17 | 341,805 | 94,95  |
| 5,25 | 52,09  | 151,90 | 234,635 | 70,65  |
| 5,5  | 30,64  | 93,33  | 123,972 | 42,78  |

Quadro 8.1.2c – Descarga efluente para 10.000 anos de recorrência

E, para a lâmina decamilenar que protege o barramento contra o galgamento, temos:

$$H = \left( \frac{Q}{C_0 L} \right)^{2/3} = \left( \frac{273,81}{2,18 \times 50,00} \right)^{2/3} = 1,84m$$

### 8.1.3 – Cálculo da folga

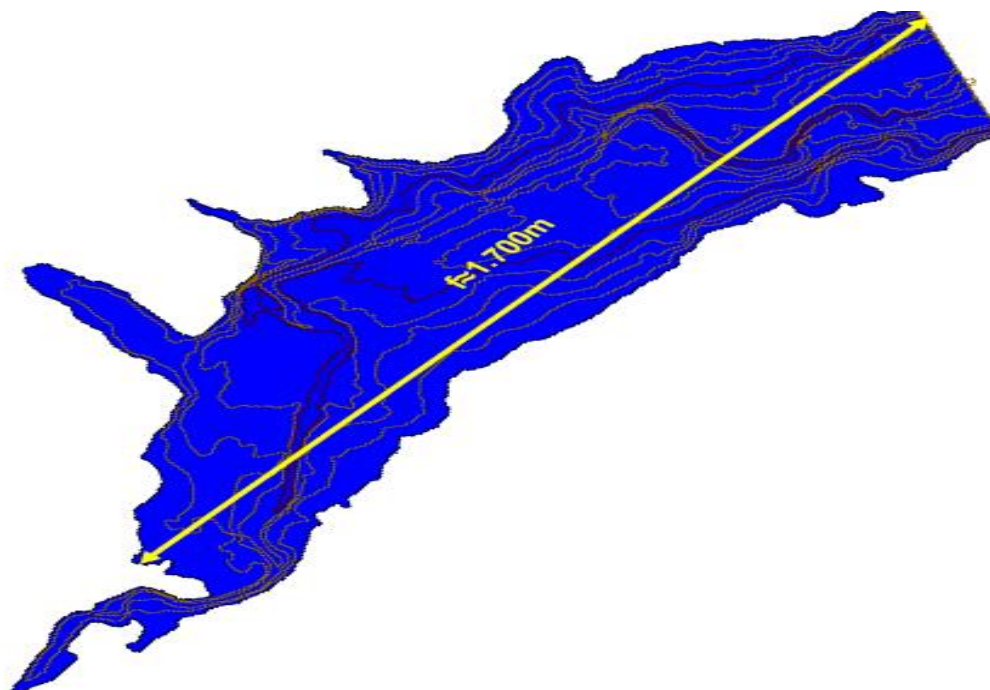


Figura 8.1.3 – fetch máximo alcançado na bacia hidráulica do Açude Oitis

A folga de um reservatório, corresponde a altura livre entre a lâmina máxima de sangria e a cota de coroamento. Existem várias metodologias que podem ser aplicadas para encontrar a folga, nesse caso, optamos pela fórmula de Stevenson.

$$F = 0,75 * h + \frac{v^2}{2g}$$

Onde:

h – altura da onda (m)

v – Velocidade das ondas (m/s)

g – aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>)

Sendo que, para h (m), temos:

$$L < 18 \text{ km}; h = 0,75 + 0,34\sqrt{L} - 0,26\sqrt[4]{L}$$

$$L > 18 \text{ km}; h = 0,34\sqrt{L}$$

L=fetch (km)

Então, para um L=1,7 km, temos:

$$h = 0,89 \text{ m}$$

$$v = 1,5 \times 2h$$

$$v = 1,5 \times 2 \times 0,89 = 2,68 \text{ m/s}$$

Substituindo os valores encontrados na Fórmula de Stenvenson, temos para a folga:

$$F = 1,03 \text{ m, adotar } 1,10 \text{ m}$$

#### 8.1.4 - Conclusão da Hidrologia

O quadro abaixo representa o resumo da hidrologia.

| OBRA: Açude Oitis                                             |                         |                          |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Largura do sangradouro<br>=50,00m<br>Cota de Soleira: 154,00m | TR 1.000 anos<br>(m3/s) | TR 10.000 anos<br>(m3/s) |
| Vazão Afluente (m3/s)                                         | 239,26                  | 300,97                   |
| Vazão Efluente (m3/s)                                         | 212,96                  | 273,81                   |
| Lâmina Máxima (m)                                             | 1,56                    | 1,84                     |
| Vazão Regularizada                                            | 0,035 m3/s/ano          |                          |

#### Quadro 8.1.4 – Resumo da hidrologia

Com base nos resultados obtidos, serão tomados para o dimensionamento do vertedouro, os valores correspondentes ao período de retorno de 1.000 e 10.000 anos:

|                                                        |                                    |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Volume afluente.....                                   | $\cong 7.294.338,23 \text{ m}^3$ ; |
| Descarga máxima afluente milenar ( $Q_{a1.000}$ )..... | $239,26 \text{ m}^3/\text{s}$ ;    |
| Cota da soleira (m).....                               | $154,00 \text{ m}$ ;               |
| Acumulação máxima (V).....                             | $2.341.913,19 \text{ m}^3$ ;       |
| Largura do sangradouro (m).....                        | $50,00 \text{ m}$ ;                |
| Descarga máxima milenar efluente ( $Q_{e1.000}$ )..... | $212,96 \text{ m}^3/\text{s}$ ;    |
| Lâmina máxima de sangria milenar (m).....              | $1,56 \text{ m}$ ;                 |
| Folga adotada (m).....                                 | $1,10 \text{ m}$ ;                 |
| Descarga decamilenar efluente( $Q_{e10.000}$ ).....    | $273,81 \text{ m}^3/\text{s}$ ;    |
| Lâmina máxima de sangria decamilenar (m).....          | $1,84 \text{ m}$ ;                 |

### 8.1.5 – DEFINIÇÃO DO ÍNDICE CURVE NUMBER

| Valores de CN para alguns tipos de ocupação e de classes de drenagem |                       |    |    |    |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------|----|----|----|
| Fonte: Righetto (1998) - Hidrologia e Recursos Hídricos              |                       |    |    |    |
| Ocupação do solo                                                     | Tipo de solo da bacia |    |    |    |
|                                                                      | A                     | B  | C  | D  |
| <b>Solo cultivado:</b>                                               |                       |    |    |    |
| Sem técnicas de conservação                                          | 72                    | 81 | 88 | 91 |
| Com técnicas de conservação                                          | 62                    | 71 | 78 | 81 |
| <b>Pastagem:</b>                                                     |                       |    |    |    |
| Condição precária                                                    | 68                    | 79 | 86 | 89 |
| Condição adequada                                                    | 39                    | 61 | 74 | 80 |
| <b>Área florestada:</b>                                              |                       |    |    |    |
| Pouca cobertura                                                      | 45                    | 66 | 77 | 83 |
| Grande cobertura                                                     | 25                    | 55 | 70 | 77 |
| <b>Parques e jardins:</b>                                            |                       |    |    |    |
| 75% de área gramada                                                  | 39                    | 61 | 74 | 80 |
| 50% a 75% de área gramada                                            | 49                    | 69 | 79 | 84 |
| Áreas comerciais (85% de área impermeável)                           | 89                    | 92 | 94 | 95 |
| Áreas industriais (72% de área impermeável)                          | 81                    | 88 | 91 | 93 |
| <b>Áreas residenciais:</b>                                           |                       |    |    |    |
| 65% de área impermeável                                              | 77                    | 85 | 90 | 92 |
| 30% de área impermeável                                              | 61                    | 75 | 83 | 87 |
| 25% de área impermeável                                              | 54                    | 70 | 80 | 85 |
| Áreas impermeáveis                                                   | 98                    | 98 | 98 | 98 |
| Pavimento com pedrisco                                               | 76                    | 85 | 89 | 91 |
| Pavimento com drenagem                                               | 98                    | 98 | 98 | 98 |

*Tipo A - solos arenosos profundos com baixo teor de argila*

*Tipo B - solos arenosos rasos com baixo teor de argila*

*Tipo C - solos barrentos com teor de argila entre 20 e 30%*

*Tipo D - solos argilosos*

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, A.M.B; MARTINS, E.S.; CLARKE, R.T; REIS JR, D.S. (2005). “Regionalização de parâmetros de modelos hidrológicos” in Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, 17 p

ANA (Agência Nacional de Águas). Manual do empreendedor sobre segurança de barragens. Diretrizes para elaboração de projetos de barragens - Volume V. Brasília – DF. 2016.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de transporte). Diretoria de planejamento e pesquisa. Coordenação geral de estudos e pesquisa. Instituto de pesquisa Rodoviárias. Manual de hidrologia básica para estrutura de drenagem. - 2 ed. – Rio de Janeiro. 2005. 133p. (IPR. Publ. 715).

*Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)*. v4.11. 2023. *US Army Corps of Engineers*. Disponível em < <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/> >.

ESTACIO, S. A. B.; COSTA, C. A.; SOUZA FILHO, F. DE A.; ROCHA, R. V. Uncertainty analysis in parameter regionalisation for streamflow prediction in ungauged semi arid catchments. *Hydrological Sciences Journal*, 2020.

HARGREAVES, G.H.; SAMANI, Z.A., Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, St Joseph, v.1 n.2, p.96–99, 1985.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Normais Climatológicas do Brasil, 1981-2020, 2020, Brasília, DF. Disponível em < <https://portal.inmet.gov.br/normais> >.

KÖPPEN, W. *Grundriss der Klimakunde: Outline of climate science*. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. 388p.

LOPES, João Eduardo G.; BRAGA, Benedito B. F. Jr.; CONEJO, João Gilberto L., 1982. SMAP A Simplified Hydrologic Model. In: SINGH, P. VIJAY (Org.). *Applied Modeling in Catchment Hydrology*. Water Resources Publications. p. 167–176.

McCuen, R.H. (2005) *Hydrologic Analysis and Design*. 3rd Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River. ã

Negreiros, J. R. Q., & Lima Neto, I. E. Relações simplificadas para estimativa do assoreamento de reservatórios

PROJETO ALOCAR. Relatório de Cálculo das Afluências aos Reservatórios Estratégicos do Ceará: Definição das Vazões Oficiais. Fortaleza: FUNCAP/UFC/COGERH, 2021a. Disponível em: < <https://portal.cogerh.com.br/definicao-das-vazoes-oficiais-dos-reservatorios-monitorados-pela-cogerh> >

Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH), Plano Estadual dos Recursos Hídricos (PLANERH 2005), Fortaleza, SRH, 2005.

Soil Conservation Service, 1972, National Engineering Handbook, Sec. 4, Hydrology, U. S. Department of Agriculture.

Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. Geological Society of America Bulletin, 63(11), 1117-1142.

THORNTON, C.W. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review, New York, v.38, n.1, p.55-94, 1948.

Torrico, J. J. T. Práticas hidrológicas, Rio de Janeiro: Transcom, 1975, 120p.

TUCCI, C.E.M. (1998). Modelos Hidrológicos. Editora da UFRGS ABRH 650p.