

ESTUDO HIDROLÓGICO E MEMORIAIS **DESCRITIVO E DE CÁLCULO**

OBRA DE ARTE ESPECIAL

OBJETO: ESTUDO HIDROLÓGICO E MEMORIAIS DESCRITIVO E DE CÁLCULO PARA SUBSIDIAR O PROJETO EXECUTIVO DE SUBSTITUIÇÃO DE PONTE DE MADEIRA POR OBRA DE ARTE ESPECIAL (OAE) SOBRE O CÓRREGO LAGEADINHO, LOCALIZADO NA RUA PONCE DE ARRUDA, BAIRRO JARDIM DAS FLORES.

COORDENADAS: S 016°25'41.05" W 054°37'00.02"

MUNICÍPIO: RONDONÓPOLIS-MT.

RONDONÓPOLIS-MT
JULHO/2025

1. INTRODUÇÃO

Os estudos hidrológicos aqui apresentados foram executados com o propósito de avaliar e determinar as características climáticas, pluviométricas e de escoamento superficial da área de drenagem afluente ao local de interesse, que contempla a substituição de uma ponte de madeira para a implantação de Obra de Arte Especial - OAE na extensão da Rua Ponce de Arruda sobre o córrego Lageadinho, no bairro Jardim das Flores em Rondonópolis-MT.

O desenvolvimento deste trabalho visa fornecer os subsídios técnicos para a aplicação de modelos de chuva adequados, que resultarão nos parâmetros de projeto essenciais para o correto dimensionamento das obras de drenagem. O processo metodológico compreendeu:

- Levantamento de dados de base;
- Análise do clima e da pluviometria na área de interesse;
- Definição do modelo de chuva a ser empregado nos cálculos de vazão.

2. COLETA DE DADOS

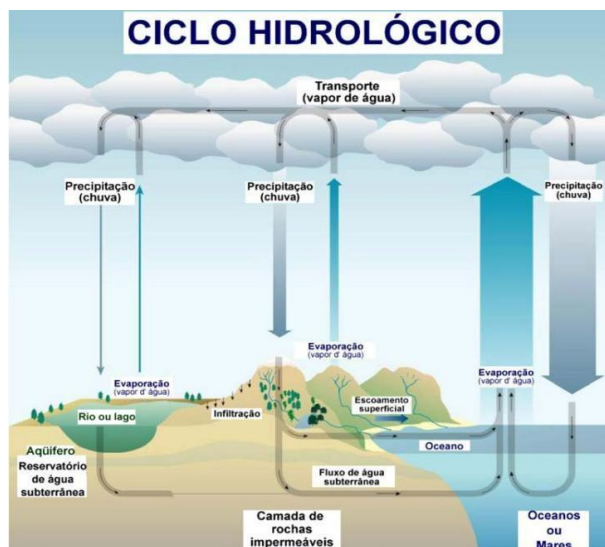
O processo de coleta de dados foi estruturado para obter as informações essenciais à caracterização do regime de chuvas e das condições climáticas da área do projeto, além de permitir o levantamento dos parâmetros topográficos e geomorfológicos das bacias de drenagem envolvidas.

3. ANÁLISE CLIMÁTICA E PLUVIOMÉTRICA

A hidrologia, definida como a ciência que estuda a ocorrência, o movimento e as propriedades da água no planeta, fornece a base conceitual para este trabalho. O conceito central é o ciclo hidrológico, que descreve as etapas de evaporação, condensação, precipitação, infiltração e escoamento. Para fins de projeto de engenharia, a quantificação destes processos é crucial.

A precipitação representa a entrada de água no sistema; a infiltração e a evapotranspiração são abstrações que reduzem o volume disponível para o escoamento superficial, que por sua vez, é a variável de saída que se deseja determinar para o dimensionamento das estruturas. A Figura 1 apresenta uma visão esquemática desse balanço hídrico.

Figura 1: Ciclo Hidrológico.



Fonte: Serviço Geológico do Brasil – Ciclo Hidrológico

A partir da análise de dados e literatura climática, busca-se compreender o comportamento do clima e seus efeitos na área do projeto, como o regime de chuvas e as variações de temperatura. A precipitação é um fenômeno governado pelas condições climáticas, que são influenciadas por fatores estáticos (topografia, altitude, latitude) e dinâmicos (sistemas de circulação atmosférica).

Portanto, a caracterização climática da região é um pré-requisito para a análise adequada das precipitações e para a seleção de postos pluviométricos ou modelos de chuva representativos.

4. BACIA HIDROGRÁFICA

Diversos fatores influenciam como a água da chuva interage com a bacia hidrográfica. Os fatores mais relevantes incluem o clima, que determina a quantidade e a distribuição das precipitações; os solos, que influenciam a infiltração e a retenção de água; as rochas, que afetam a permeabilidade e a formação de aquíferos; e a vegetação, que contribui para a interceptação da chuva e a redução do escoamento superficial. Além desses, existem fatores morfométricos, que são características associadas ao relevo, área, comprimento do curso d'água principal e a declividade (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013).

A área da bacia é uma característica que permite definir o potencial hídrico da bacia, pois é onde ocorre a precipitação e captação da água da chuva. O volume de água recebido pode ser calculado multiplicando a altura da lâmina precipitada pela área ao longo de um intervalo de tempo. A amplitude altimétrica, obtida subtraindo a cota do ponto mais baixo da bacia da cota do ponto mais alto, define a velocidade de escoamento das águas pluviais.

A bacia hidrográfica possui um curso d'água principal que se inicia no ponto mais alto, onde não há afluentes, e segue até o exutório. Este curso d'água principal recebe contribuições de outros cursos de menor ordem. O formato da bacia também influencia suas propriedades hidrológicas. Um formato mais circular tende a concentrar o escoamento superficial, pois um grande número de afluentes chega ao exutório simultaneamente. Em contraste, um formato mais alongado favorece um escoamento mais lento ao longo do curso d'água principal, proporcionando uma distribuição mais gradual do fluxo (COLLISCHONN e DORNELLES, 2013).

Compreender esses aspectos é fundamental para a gestão eficiente dos recursos hídricos, a prevenção de inundações e o planejamento do uso do solo, garantindo a sustentabilidade ambiental e a disponibilidade de água para diversas necessidades.

5. LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

A ponte a ser projetada, objeto do presente estudo, encontra-se localizada na Avenida Lídio Magalhães, Bairro Jardim Primavera, no município de Rondonópolis-MT.

O quadro 01 e as figuras 01 e 02, apresentam os dados coletados em campo e o croqui de localização. Além disso, no anexo do presente estudo, encontram-se a delimitação da bacia de contribuição do mesmo e suas respectivas informações.

Quadro 1 – Dados do local de estudo.

| DADOS DO LOCAL DE ESTUDO | | | | | |
|---------------------------|---------------------|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|--|
| PONTO | ESTRADA | CURSO D'ÁGUA | COORDENADAS - LAT. LONG. | | SERVIÇO |
| | | | INÍCIO | FIM | |
| Ponte Rua Ponce de Arruda | Rua Ponce de Arruda | Córrego Lageadinho | S 016°25'41.61" W 054°37'00.32" | S 016°25'40.49" W 054°36'59.73" | Substituição de ponte de madeira por OAE |

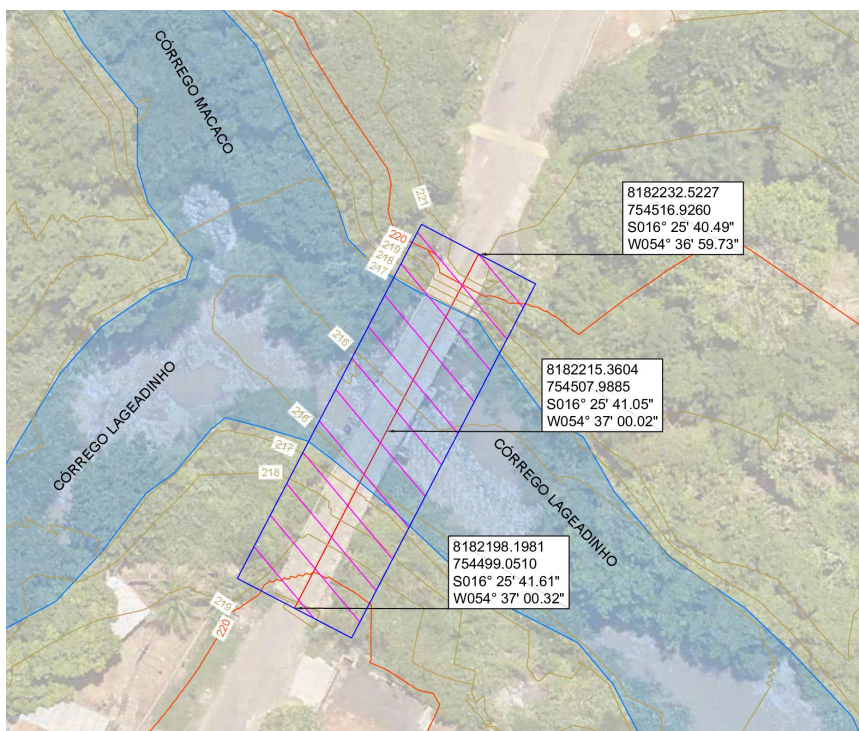
Fonte: Autor.

Figura 1: Croqui de localização - OAE a ser executada.



Fonte: Google Earth Pro 2024

Figura 2: Implantação - OAE a ser executada.



Fonte: Topografia, adaptado pelo autor.

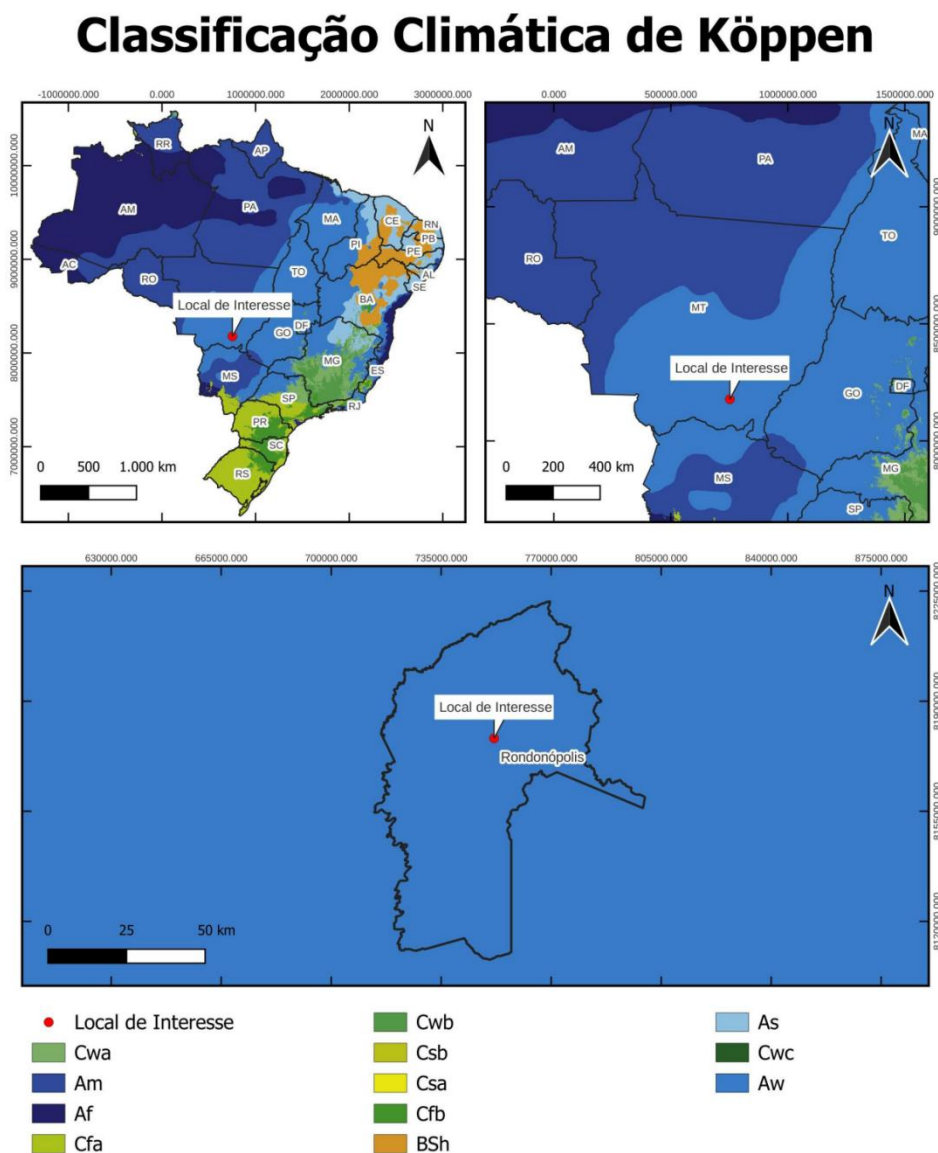
6. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA

Segundo a classificação de Köppen-Geiger, amplamente utilizada no Brasil, a área do projeto está inserida no domínio climático "Aw". Esta classificação corresponde ao Clima Tropical com estação seca no inverno, conforme pode ser visualizado no mapa da Figura 3.

O clima tropical (Aw) da região é marcado por duas estações bem definidas: um verão chuvoso, que se estende de novembro a abril, e um inverno seco, de maio a outubro, sendo julho o mês de menor precipitação. As temperaturas médias mensais mantêm-se acima de 18°C, inclusive no mês mais frio, e os totais pluviométricos anuais variam tipicamente entre 750 mm e 1.800 mm.

No que tange à temperatura, a região do projeto enquadra-se na subcategoria "quente", o que significa que a temperatura média se mantém superior a 18°C durante todos os meses do ano, conforme ilustrado na Figura 4.

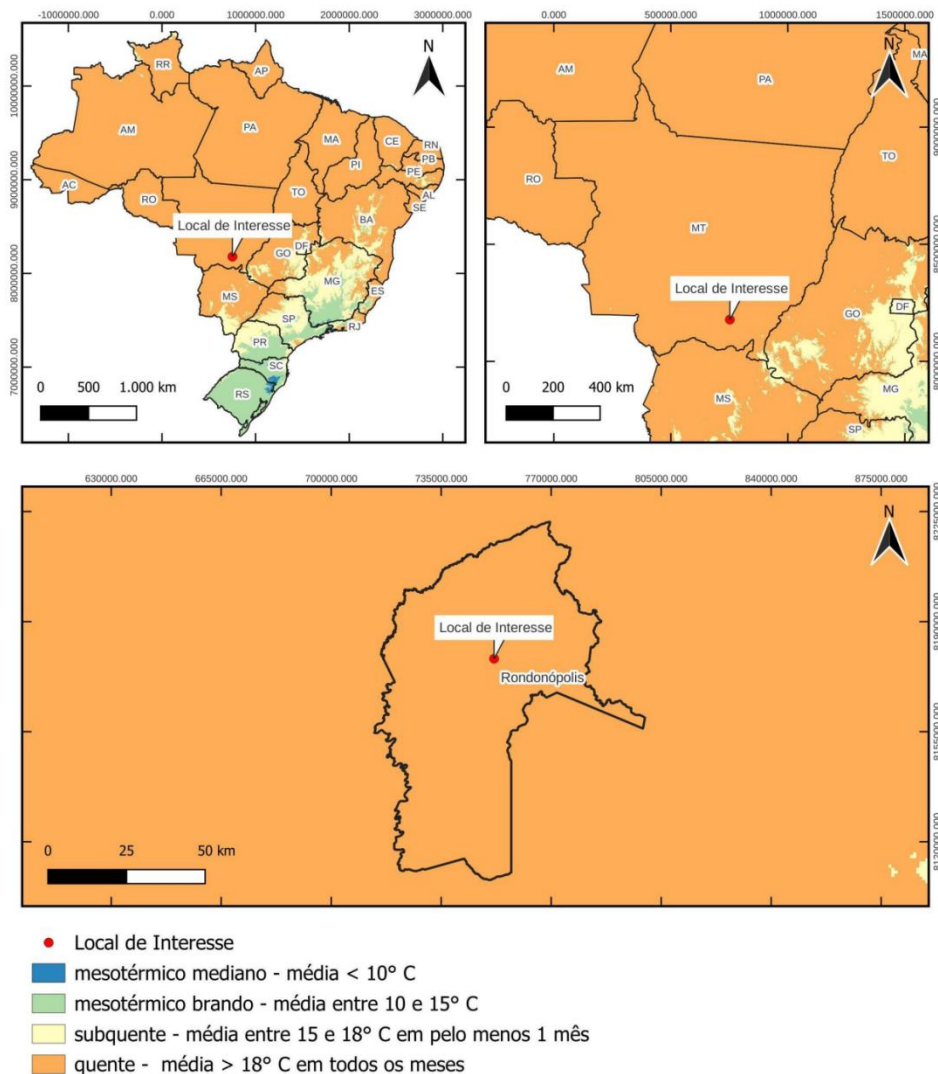
Figura 3: Classificação climática de Köppen-Geiger.



Fonte: Adaptado do acervo geodatabase do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF.

Figura 4: Temperatura média do ano (°C).

Temperatura Média



Fonte: Adaptado do acervo geodatabase do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF.

7. PLUVIOMETRIA

A Região Centro-Oeste do Brasil possui um regime pluviométrico sazonal bem definido, influenciado predominantemente pelos sistemas de circulação atmosférica. A maior parte da precipitação anual (acima de 70%) ocorre no período de outubro a março. O trimestre de maior pluviosidade corresponde a outubro, novembro e dezembro, contribuindo com cerca de 35% a 40% do volume total anual.

Com o objetivo de particularizar essa caracterização para a área do projeto, foram selecionados e analisados os registros da estação pluviométrica mais próxima. As informações desta estação são a base para os cálculos subsequentes e estão detalhadas na sequência.

7.1. PROCESSAMENTO DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS

A base de dados pluviométricos fundamental para este estudo foi a série histórica de chuvas obtida na plataforma Hidroweb, o Sistema de Informações Hidrológicas mantido pela Agência Nacional de Águas (ANA). A seleção de um posto pluviométrico que represente fielmente as condições da bacia hidrográfica em estudo é uma etapa de crucial importância para a confiabilidade dos resultados. Portanto, a escolha do posto adotado seguiu uma avaliação criteriosa baseada nos seguintes pré-requisitos técnicos:

- **Proximidade Geográfica:** O posto deve estar localizado o mais próximo possível da área de drenagem, minimizando as incertezas decorrentes da variabilidade espacial da precipitação. Esta condição aumenta a probabilidade de que os eventos de chuva registrados na estação sejam representativos dos que ocorrem sobre a bacia.
- **Extensão e Consistência da Série Histórica:** A série de dados deve possuir um período de registro suficientemente longo, adotando-se como mínimo 15 anos de dados consistentes. Uma série histórica extensa é vital para garantir a robustez estatística da análise, permitindo uma extrapolação mais segura para tempos de recorrência elevados e mitigando a influência de ciclos climáticos de curto prazo (períodos excessivamente secos ou chuvosos).
- **Representatividade Microclimática:** O posto deve compartilhar as mesmas características microclimáticas da bacia em estudo, considerando fatores como altitude, relevo e eventuais influências orográficas que possam gerar padrões de chuva distintos em locais próximos.

Após a aplicação criteriosa destes pré-requisitos, o posto pluviométrico selecionado foi o de nº **1654000**, localizado no município de Rondonópolis-MT, por atender satisfatoriamente à localização do projeto e, principalmente, por apresentar uma série de dados de excelente qualidade e consistência. Os registros deste posto foram então submetidos a um tratamento estatístico e hidrológico para a quantificação do regime de chuvas da região.

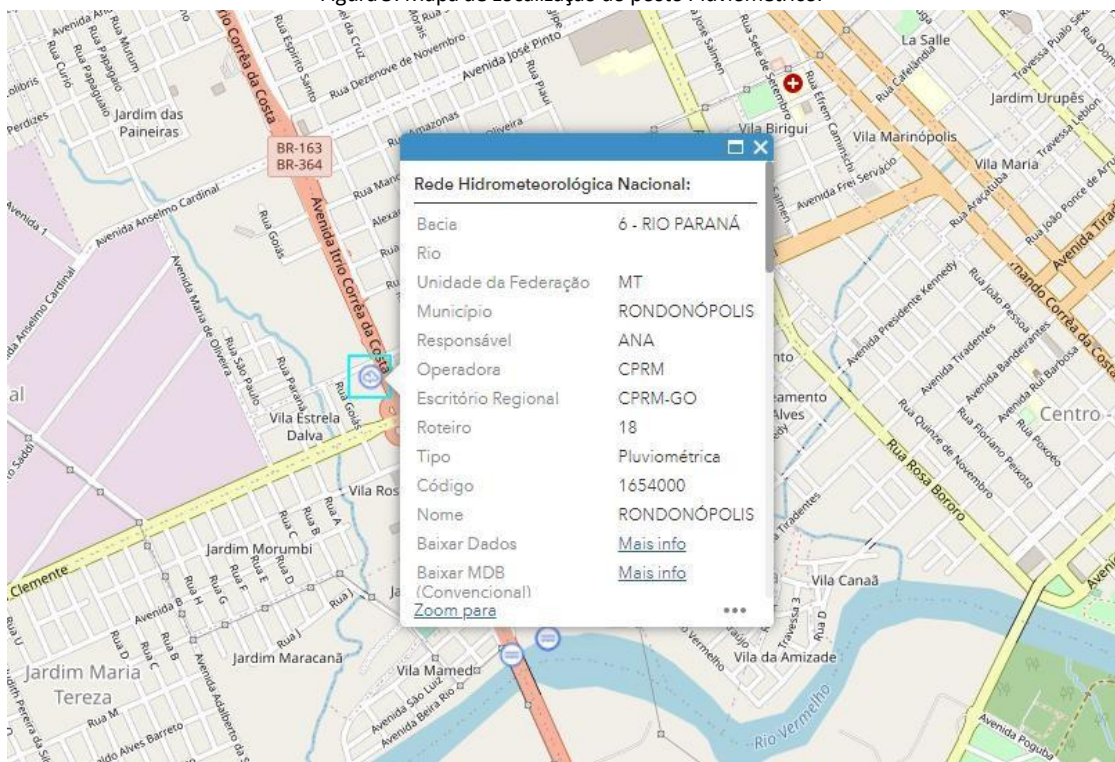
7.2. ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS DA ESTAÇÃO

Quadro 2 - Dados da Estação Pluviométrica utilizada.

| DADOS DA ESTAÇÃO | |
|------------------|---------------|
| Código | 1654000 |
| Tipo | Pluviométrica |
| Nome | Rondonópolis |
| Município | Rondonópolis |
| Bacia | Rio Paraná |
| Estado | Mato Grosso |
| Responsável | ANA |
| Operadora | CPRM |

Fonte: ANA, adaptado projetista.

Figura 5: Mapa de Localização do posto Pluviométrico.



Fonte: ANA, adaptado projetista.

O tratamento dos dados pluviográficos brutos é o processo que transforma os registros históricos em informações aplicáveis ao dimensionamento de engenharia. A partir da análise da série temporal de chuvas, é possível derivar os parâmetros de projeto essenciais: a altura de precipitação (P , em mm) e a intensidade da chuva (I , em mm/h), ambas associadas a um determinado tempo de recorrência (Tr) e vinculadas ao tempo de concentração (Tc) da bacia.

O processamento dos dados coletados, que serão apresentadas a seguir em forma de gráficos, foi conduzido com os seguintes objetivos específicos:

- **Determinar as Chuvas de Projeto:** Calcular as relações entre intensidade, duração e frequência para diferentes tempos de recorrência (Tr), estabelecendo os eventos críticos que servirão de base para os cálculos de vazão.
- **Caracterizar a Sazonalidade:** Elaborar histogramas que demonstrem a distribuição das chuvas ao longo do ano, como as médias de dias chuvosos mensais e os totais pluviométricos mensais, a fim de visualizar e quantificar os períodos úmidos e de estiagem.
- **Desenvolver as Curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF):** Sintetizar os resultados da análise de frequência em um formato gráfico funcional. As curvas IDF representam o produto final mais importante desta etapa, pois fornecem a intensidade da chuva de projeto para qualquer duração de interesse, sendo o principal insumo para a maioria dos métodos de cálculo de vazão de pico.

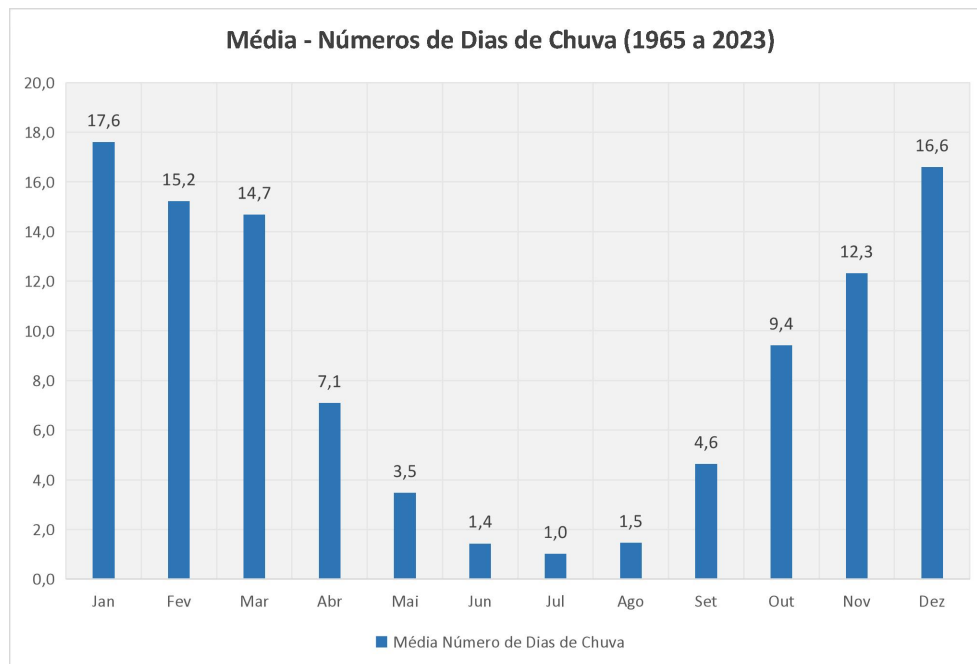


Gráfico 1: Média de números de dias de chuva mensal.

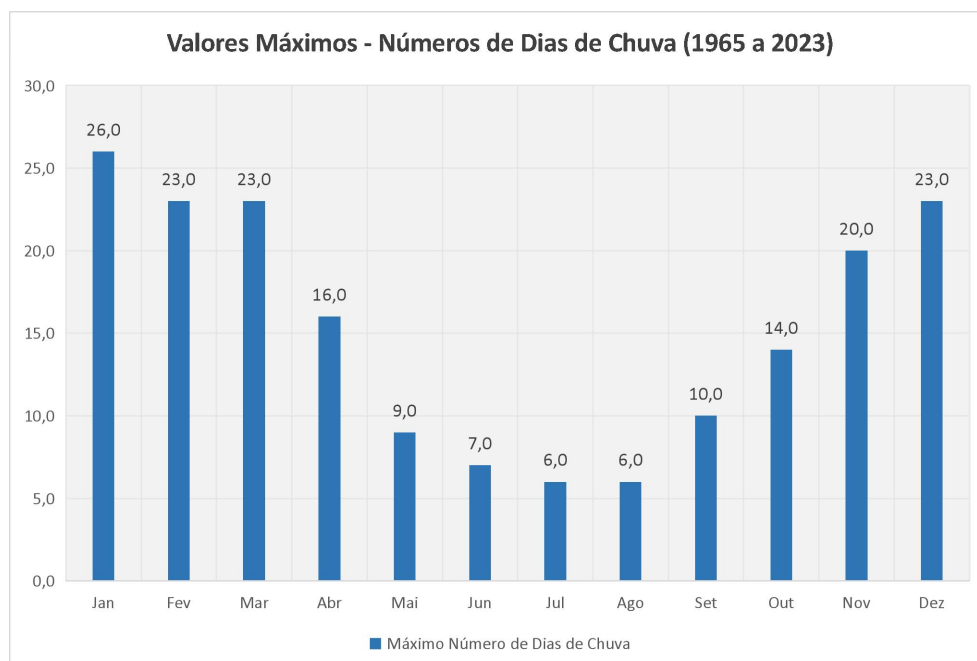


Gráfico 2: Máximo de números de dias de chuva mensal.

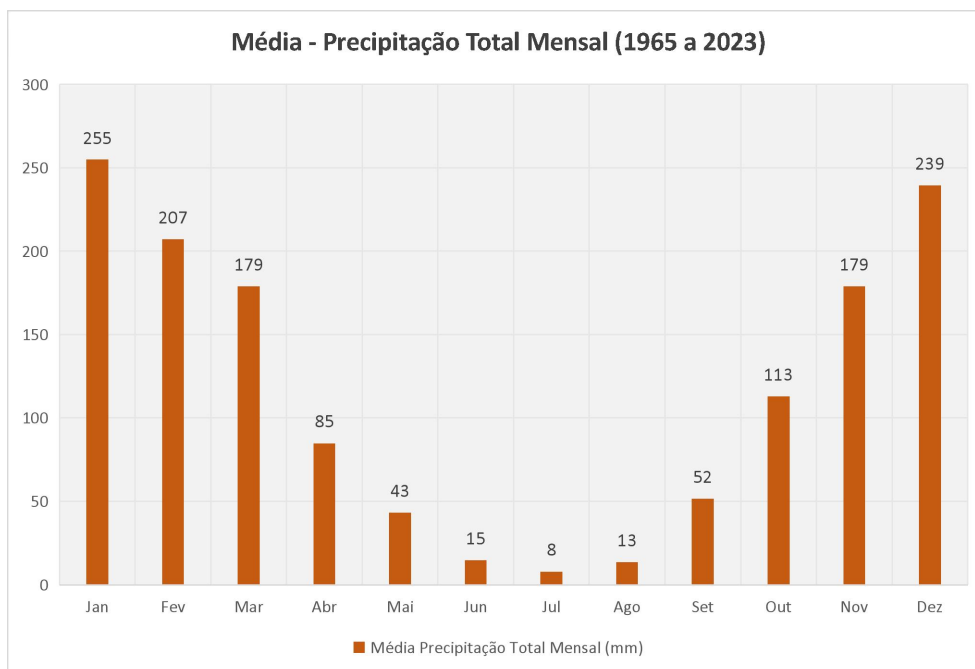


Gráfico 3: Média de precipitação total mensal.

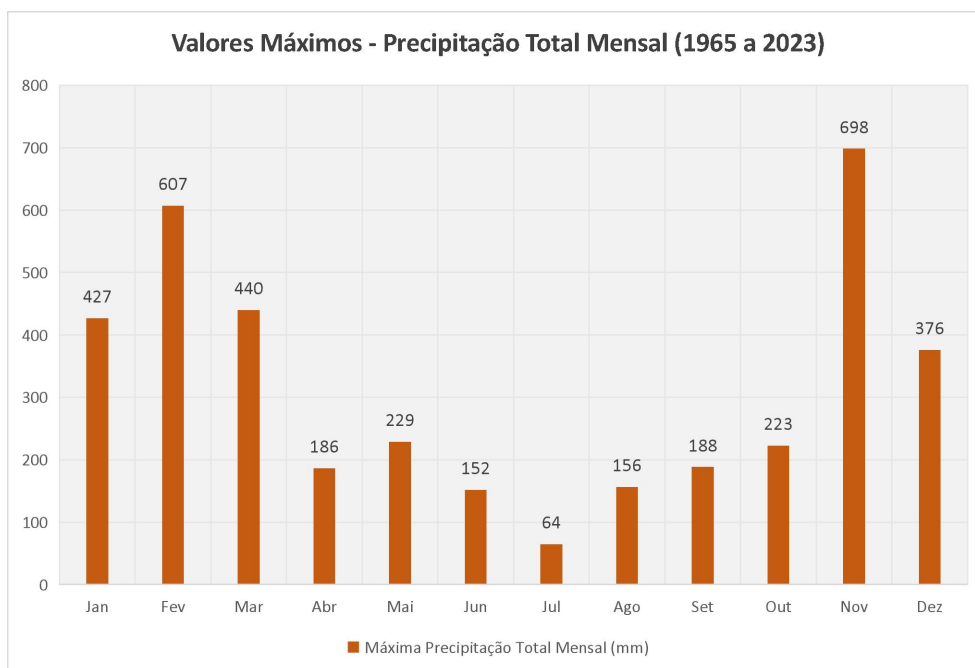


Gráfico 4: Máxima precipitação total mensal.

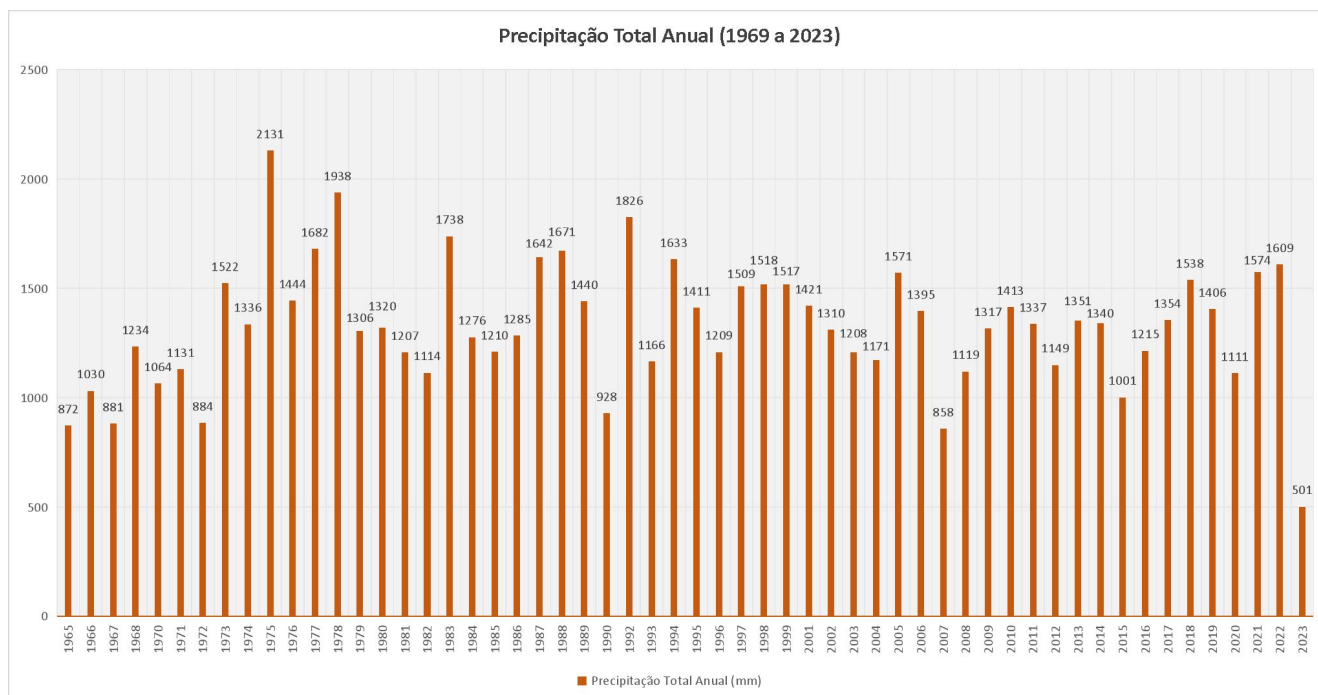


Gráfico 5: Precipitação total anual.

A partir da análise dos dados apresentados, é possível perceber que o regime pluviométrico da região é caracterizado por uma forte sazonalidade, com uma estação chuvosa bem definida entre outubro e março, que concentra a maior parte da precipitação anual, e uma estação seca rigorosa de maio a setembro. A análise dos valores máximos revela uma alta variabilidade, com capacidade para gerar eventos de chuva mensais extremamente volumosos e períodos com frequência de chuva quase diária. A série anual demonstra a existência de uma considerável flutuação interanual, com ciclos de anos mais secos e mais úmidos, sendo crucial para a análise de frequência de eventos extremos em projetos de engenharia.

8. MÉTODO UTILIZADO NO ESTUDO HIDROLÓGICO

O dimensionamento de obras hidráulicas para um nível de segurança adequado exige a quantificação de eventos hidrológicos extremos, cuja ocorrência é, por natureza, rara. A série histórica de dados disponíveis, por mais longa que seja, constitui apenas uma amostra de um universo (ou população) muito maior de eventos possíveis. Portanto, é improvável que a maior chuva registrada na amostra corresponda à chuva crítica de projeto (por exemplo, com tempo de recorrência de 100 anos). Para transpor essa limitação, recorre-se à estatística inferencial, que permite, a partir da amostra, modelar o comportamento da população.

O método se desenvolve em duas etapas fundamentais. A primeira é a análise descritiva da amostra, na qual se calculam os indicadores estatísticos que a caracterizam: a média (medida de tendência central), o desvio padrão (que quantifica a variância ou dispersão dos dados), os coeficientes de assimetria (que indicam o desvio da simetria) e de curtose (que mede o achatamento da curva de distribuição). É fundamental ressaltar que estas medidas descrevem exclusivamente o comportamento da amostra e não permitem, por si só, fazer inferências sobre a população.

A segunda e principal etapa é a modelagem probabilística. O objetivo aqui é ajustar um modelo matemático teórico, conhecido como função de distribuição de probabilidade (FDP), à distribuição de frequência empírica dos dados observados na amostra. Uma vez que a FDP está adequadamente ajustada, ela se torna uma ferramenta poderosa para estimar a magnitude de eventos para qualquer probabilidade de excedência, ou o seu inverso, o tempo de recorrência (TR).

Para tempos de recorrência usuais em projetos de engenharia (tipicamente até 100 anos, ou que não superem o dobro do comprimento da série de dados), a literatura técnica consolidada demonstra que os resultados obtidos por diferentes FDPs (como Gumbel, Log-Normal, etc.) tendem a ser convergentes e apresentam pouca divergência entre si.

Com base em sua robustez, ampla aceitação na engenharia hidrológica brasileira e sua adequação teórica para a análise de valores máximos anuais, o modelo estatístico adotado para este projeto foi a Lei de Distribuição de Gumbel para Valores Extremos.

8.1. LEI DE DISTRIBUIÇÃO DE GUMBEL

Em conformidade com a metodologia preconizada pelo Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem (DNIT – 2005), a análise de frequência de eventos extremos foi conduzida utilizando a Distribuição de Gumbel. Este método fundamenta-se na Teoria dos Valores Extremos, que demonstra matematicamente que, para uma amostra de máximas anuais cujo número de elementos tende ao infinito, a probabilidade de um evento ser igual ou inferior a um determinado valor pode ser descrita pela seguinte equação:

$$P = e^{-e^{-y}}$$

(Equação 1)

Onde:

- **P** = Probabilidade de não ocorrência de um evento superior ao valor em análise (probabilidade de não-excedência).
- **e** = Base dos logaritmos neperianos (número de Euler).
- **y** = Variável reduzida de Gumbel, um valor adimensional que está diretamente associado ao tempo de recorrência (TR). Para um TR de 100 anos, $y = 4,600149$.

Na aplicação prática, onde se trabalha com uma amostra de tamanho finito (um número real de anos de observação), a metodologia de Gumbel é convenientemente expressa pela Equação Geral de Frequência, formalizada por Ven Te Chow. Esta equação fornece uma estrutura robusta para o cálculo de eventos extremos:

$$Q(t) = \bar{Q} + \sigma K(t)$$

(Equação 2)

Onde:

- **Q(t)** = Descarga (ou precipitação) máxima associada ao tempo de recorrência TR desejado.
- **\bar{Q}** = Descarga Média da série histórica de máximas anuais disponível.
- **σ** = Desvio padrão da amostra.
- **K(t)** = Fator de frequência, que é variável chave para o ajuste da equação, que depende do número de anos da amostra e do tempo de recorrência.

A descarga média é obtida pela expressão:

$$\bar{Q} = \frac{\sum Q}{n}$$

(Equação 3)

Onde:

- \bar{Q} = Descarga Média da série histórica de máximas anuais disponível.
- $\sum Q$ = Somatória das descargas da série de máximas anuais.
- n = Número de anos da amostra observados.

O desvio padrão é obtido pela expressão:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Q - \bar{Q})^2}{n - 1}}$$

(Equação 4)

Onde:

- \bar{Q} = Descarga Média da série histórica de máximas anuais disponível.
- $\sum Q$ = Desvio padrão da amostra.
- n = Número de anos da amostra observados.

O fator de frequência $K(t)$ pode ser determinado pela expressão:

$$K(t) = \frac{y - yn}{\sigma n}$$

(Equação 5)

Onde:

- y = Variável reduzida.
- yn = Média aritmética da variável reduzida, para uma amostra de n elementos extremos.
- σn = Desvio padrão da variável reduzida.

A variável reduzida é calculada a partir da equação fundamental de Gumbel, que relaciona o tempo de recorrência (TR) com a probabilidade (P). Considerando que TR é o inverso da probabilidade de excedência, a variável y pode ser calculada diretamente pela expressão:

$$y = -Ln[Ln \times TR - Ln(TR - 1)]$$

(Equação 6)

Onde:

- Ln = Variável reduzida.
- TR = Média aritmética da variável reduzida, para uma amostra de n elementos extremos.

A média aritmética da variável reduzida é determinada pela expressão:

$$yn = \frac{\sum y}{n}$$

(Equação 7)

E o desvio padrão:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{n}}$$

(Equação 8)

Para validar o ajuste da distribuição teórica de Gumbel aos dados observados, é essencial primeiro atribuir uma probabilidade empírica de ocorrência a cada evento da série histórica. Este procedimento é realizado utilizando uma fórmula de posição de plotagem, que ordena os dados e calcula a frequência com que cada valor foi igualado ou superado no passado.

Para este estudo, adota-se a Fórmula de Plotagem de Weibull, amplamente recomendada na hidrologia por fornecer estimativas não-enviesadas da probabilidade. Com a série de máximas anuais organizada em ordem decrescente (onde ***m*** é a ordem do evento, de 1 ao número de anos ***n***), a probabilidade de um evento não ser excedido (***p***, em porcentagem) é calculada como:

$$p = 100 \times \left(1 - \frac{m}{n + 1}\right)$$

(Equação 9)

A partir desta probabilidade, o tempo de recorrência empírico (TR) correspondente a cada evento da série é obtido pela sua definição fundamental, que é o inverso da probabilidade de excedência:

$$TR = \frac{100}{100 - p}$$

(Equação 10)

Na etapa subsequente deste relatório, serão apresentadas as tabelas de cálculo detalhadas que demonstram a aplicação destas fórmulas para cada ano da série histórica, juntamente com os gráficos de precipitação relacionados a seus respectivos tempos de recorrência do estudo hidrológico.

8.2. MEMORIAL DE CÁLCULO HIDROLÓGICO: APLICAÇÃO MÉTODO DE GUMBEL

Nesta seção, é apresentado o desenvolvimento detalhado do cálculo para a determinação das alturas de precipitação de projeto, utilizando a metodologia estatística de Gumbel, conforme fundamentado nos itens anteriores. O objetivo é, a partir da série histórica de precipitações máximas diárias, estimar a magnitude das chuvas para diferentes tempos de recorrência.

Os cálculos a seguir demonstram o passo a passo da análise de frequência, culminando na definição das lâminas de chuva com duração de um dia para os períodos de retorno de interesse para o projeto.

Tabela 1: Cálculo das alturas de chuvas diárias.

| CÁLCULO DAS ALTURAS DE CHUVAS DIÁRIAS PARA DIFERENTES TEMPOS DE MÉTODO ESTATÍSTICO - MÉTODO DE GUMBEL | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------|---|--------|-----------|---------------------------|-------------------------|-----------------------|--------|-----------|
| ESTAÇÃO PLUVIOMÉTRICA: RONDONÓPOLIS - CÓDIGO DA ESTAÇÃO: 1654000 | | | | | | | | | | |
| Ano da ocorrência | Precipitação - P (m³/s) | Número de ordem M | Precipitação em ordem decrescentes (m³/s) | P - Pn | (P - Pn)² | Pr = 100(1 - M/(N-1)) (%) | Tr = 1 x 100 / 100 - Pr | Variável reduzida - Y | Y - Yn | (Y - Yn)² |
| 1965 | 53,20 | 1 | 205,20 | 119,83 | 14360,17 | 99,00 | 100,00 | 4,60 | 4,02 | 16,12 |
| 1966 | 44,60 | 2 | 191,20 | 105,83 | 11200,82 | 97,00 | 33,33 | 3,49 | 2,91 | 8,45 |
| 1967 | 67,10 | 3 | 178,00 | 92,63 | 8581,04 | 95,00 | 20,00 | 2,97 | 2,39 | 5,69 |
| 1968 | 88,70 | 4 | 176,40 | 91,03 | 8287,18 | 93,00 | 14,29 | 2,62 | 2,04 | 4,15 |
| 1970 | 56,00 | 5 | 128,60 | 43,23 | 1869,17 | 92,00 | 12,50 | 2,48 | 1,90 | 3,61 |
| 1971 | 128,60 | 6 | 121,20 | 35,83 | 1284,07 | 90,00 | 10,00 | 2,25 | 1,67 | 2,77 |
| 1972 | 54,00 | 7 | 118,40 | 33,03 | 1091,24 | 88,00 | 8,33 | 2,06 | 1,47 | 2,17 |
| 1973 | 65,00 | 8 | 114,30 | 28,93 | 837,17 | 86,00 | 7,14 | 1,89 | 1,31 | 1,71 |
| 1974 | 88,00 | 9 | 112,80 | 27,43 | 752,62 | 85,00 | 6,67 | 1,82 | 1,23 | 1,52 |
| 1975 | 178,00 | 10 | 108,00 | 22,63 | 512,29 | 83,00 | 5,88 | 1,68 | 1,10 | 1,20 |
| 1976 | 59,20 | 11 | 107,20 | 21,83 | 476,72 | 81,00 | 5,26 | 1,56 | 0,97 | 0,95 |
| 1977 | 98,00 | 12 | 107,00 | 21,63 | 468,03 | 79,00 | 4,76 | 1,45 | 0,86 | 0,74 |
| 1978 | 107,00 | 13 | 106,10 | 20,73 | 429,90 | 78,00 | 4,55 | 1,39 | 0,81 | 0,65 |
| 1979 | 62,00 | 14 | 98,40 | 13,03 | 169,88 | 76,00 | 4,17 | 1,29 | 0,71 | 0,50 |
| 1980 | 61,40 | 15 | 98,00 | 12,63 | 159,62 | 74,00 | 3,85 | 1,20 | 0,62 | 0,38 |
| 1981 | 107,20 | 16 | 89,00 | 3,63 | 13,21 | 72,00 | 3,57 | 1,11 | 0,53 | 0,28 |
| 1982 | 60,60 | 17 | 88,70 | 3,33 | 11,12 | 71,00 | 3,45 | 1,07 | 0,49 | 0,24 |
| 1983 | 191,20 | 18 | 88,00 | 2,63 | 6,94 | 69,00 | 3,23 | 0,99 | 0,41 | 0,17 |
| 1984 | 75,00 | 19 | 87,40 | 2,03 | 4,14 | 67,00 | 3,03 | 0,92 | 0,33 | 0,11 |
| 1985 | 98,40 | 20 | 86,90 | 1,53 | 2,35 | 65,00 | 2,86 | 0,84 | 0,26 | 0,07 |
| 1986 | 81,70 | 21 | 86,70 | 1,33 | 1,78 | 64,00 | 2,78 | 0,81 | 0,22 | 0,05 |
| 1987 | 78,70 | 22 | 86,60 | 1,23 | 1,52 | 62,00 | 2,63 | 0,74 | 0,15 | 0,02 |
| 1988 | 86,90 | 23 | 86,00 | 0,63 | 0,40 | 60,00 | 2,50 | 0,67 | 0,09 | 0,01 |
| 1989 | 86,00 | 24 | 84,20 | -1,17 | 1,36 | 58,00 | 2,38 | 0,61 | 0,02 | 0,00 |
| 1990 | 106,10 | 25 | 82,40 | -2,97 | 8,80 | 57,00 | 2,33 | 0,58 | -0,01 | 0,00 |
| 1992 | 205,20 | 26 | 81,80 | -3,57 | 12,72 | 55,00 | 2,22 | 0,51 | -0,07 | 0,00 |
| 1993 | 63,50 | 27 | 81,70 | -3,67 | 13,44 | 53,00 | 2,13 | 0,45 | -0,13 | 0,02 |
| 1994 | 84,20 | 28 | 80,20 | -5,17 | 26,69 | 51,00 | 2,04 | 0,40 | -0,19 | 0,04 |
| 1995 | 118,40 | 29 | 78,70 | -6,67 | 44,44 | 50,00 | 2,00 | 0,37 | -0,22 | 0,05 |
| 1996 | 81,80 | 30 | 76,60 | -8,77 | 76,84 | 48,00 | 1,92 | 0,31 | -0,28 | 0,08 |
| 1997 | 121,20 | 31 | 75,00 | -10,37 | 107,46 | 46,00 | 1,85 | 0,25 | -0,33 | 0,11 |
| 1998 | 176,40 | 32 | 75,00 | -10,37 | 107,46 | 44,00 | 1,79 | 0,20 | -0,39 | 0,15 |
| 1999 | 86,70 | 33 | 74,30 | -11,07 | 122,46 | 43,00 | 1,75 | 0,17 | -0,42 | 0,17 |
| 2001 | 69,40 | 34 | 72,30 | -13,07 | 170,72 | 41,00 | 1,69 | 0,11 | -0,47 | 0,22 |
| 2002 | 75,00 | 35 | 69,40 | -15,97 | 254,92 | 39,00 | 1,64 | 0,06 | -0,52 | 0,28 |
| 2003 | 89,00 | 36 | 67,10 | -18,27 | 333,65 | 37,00 | 1,59 | 0,01 | -0,58 | 0,34 |
| 2004 | 76,60 | 37 | 66,00 | -19,37 | 375,04 | 36,00 | 1,56 | -0,02 | -0,61 | 0,37 |
| 2005 | 82,40 | 38 | 65,00 | -20,37 | 414,78 | 34,00 | 1,52 | -0,08 | -0,66 | 0,44 |
| 2006 | 108,00 | 39 | 63,50 | -21,87 | 478,13 | 32,00 | 1,47 | -0,13 | -0,72 | 0,51 |
| 2007 | 49,10 | 40 | 62,00 | -23,37 | 545,97 | 30,00 | 1,43 | -0,19 | -0,77 | 0,59 |
| 2008 | 87,40 | 41 | 62,00 | -23,37 | 545,97 | 29,00 | 1,41 | -0,21 | -0,80 | 0,64 |
| 2009 | 74,30 | 42 | 61,40 | -23,97 | 574,37 | 27,00 | 1,37 | -0,27 | -0,85 | 0,73 |
| 2010 | 66,00 | 43 | 60,60 | -24,77 | 613,36 | 25,00 | 1,33 | -0,33 | -0,91 | 0,83 |
| 2011 | 114,30 | 44 | 59,90 | -25,47 | 648,52 | 23,00 | 1,30 | -0,39 | -0,97 | 0,94 |
| 2012 | 80,20 | 45 | 59,20 | -26,17 | 684,66 | 22,00 | 1,28 | -0,41 | -1,00 | 1,00 |
| 2013 | 62,00 | 46 | 56,00 | -29,37 | 862,37 | 20,00 | 1,25 | -0,48 | -1,06 | 1,13 |
| 2014 | 112,80 | 47 | 54,00 | -31,37 | 983,83 | 18,00 | 1,22 | -0,54 | -1,12 | 1,26 |
| 2015 | 72,30 | 48 | 53,20 | -32,17 | 1034,66 | 16,00 | 1,19 | -0,61 | -1,19 | 1,42 |
| 2016 | 86,60 | 49 | 52,40 | -32,97 | 1086,76 | 15,00 | 1,18 | -0,64 | -1,23 | 1,50 |
| 2017 | 59,90 | 50 | 51,40 | -33,97 | 1153,69 | 13,00 | 1,15 | -0,71 | -1,30 | 1,69 |
| 2018 | 47,60 | 51 | 51,30 | -34,07 | 1160,50 | 11,00 | 1,12 | -0,79 | -1,38 | 1,90 |
| 2019 | 52,40 | 52 | 49,10 | -36,27 | 1315,23 | 9,00 | 1,10 | -0,88 | -1,46 | 2,14 |
| 2020 | 46,40 | 53 | 47,60 | -37,77 | 1426,28 | 8,00 | 1,09 | -0,93 | -1,51 | 2,29 |
| 2021 | 51,40 | 54 | 46,40 | -38,97 | 1518,35 | 6,00 | 1,06 | -1,03 | -1,62 | 2,62 |
| 2022 | 46,10 | 55 | 46,10 | -39,27 | 1541,82 | 4,00 | 1,04 | -1,17 | -1,75 | 3,08 |
| 2023 | 51,30 | 56 | 44,60 | -40,77 | 1661,87 | 2,00 | 1,02 | -1,36 | -1,95 | 3,80 |

Tabela 2: Resumo dos resultados.

| CÁLCULO AUXILIAR | | | |
|---------------------------|----------|------|-------|
| N = | 56,00 | N-1= | 55,00 |
| ΣP = | 4780,50 | Pn = | 85,37 |
| Σ (P-Pn) ² = | 70428,49 | σn = | 35,78 |
| Σ Y = | 32,77 | Yn = | 0,59 |
| Σ (Y - Yn) ² = | 81,85 | σ'n= | 1,22 |

Tabela 3: Precipitação total, equação de Ven te Chow.

| FORMULA DE VEN TE CHOW | | | | |
|------------------------|-------|-------|------|--------|
| Pt = Qn + σn x Kt | | | | |
| P. em Anos | Pn | σn | Kt | Pt |
| P5 | 85,37 | 35,78 | 0,75 | 112,20 |
| P10 | 85,37 | 35,78 | 1,37 | 134,21 |
| P15 | 85,37 | 35,78 | 1,71 | 146,63 |
| P20 | 85,37 | 35,78 | 1,96 | 155,33 |
| P25 | 85,37 | 35,78 | 2,14 | 162,03 |
| P50 | 85,37 | 35,78 | 2,72 | 182,66 |
| P100 | 85,37 | 35,78 | 3,29 | 203,14 |

Tabela 4: Cálculo do fator de frequência.

| CÁLCULO DO FATOR DE FREQUENCIA - Kt | | | | |
|-------------------------------------|----------|------|------|------|
| Kt = (Y - Yn) / σ'n | | | | |
| ANOS | Y | Yn | σ'n | Kt |
| 5 | 1,499940 | 0,59 | 1,22 | 0,75 |
| 10 | 2,250367 | 0,59 | 1,22 | 1,37 |
| 15 | 2,673752 | 0,59 | 1,22 | 1,71 |
| 20 | 2,970195 | 0,59 | 1,22 | 1,96 |
| 25 | 3,198534 | 0,59 | 1,22 | 2,14 |
| 50 | 3,901939 | 0,59 | 1,22 | 2,72 |
| 100 | 4,600149 | 0,59 | 1,22 | 3,29 |

A análise de frequência realizada anteriormente resultou nas precipitações máximas para uma duração de um dia pluviométrico. No entanto, a maioria dos métodos de cálculo de vazão de pico exige a intensidade da chuva para uma duração igual ao tempo de concentração da bacia, que é tipicamente inferior a 24 horas. Para realizar a transição entre a chuva diária e as chuvas de curta duração, foi empregado o método das Isozonas, desenvolvido pelo Eng. Jaime Taborga Torrico.

Este método empírico, amplamente utilizado no Brasil, estabelece relações percentuais entre a chuva de 24 horas e chuvas de durações menores, com base em zonas de comportamento pluviométrico similar. O processo se desenvolve em etapas sequenciais:

- 1. Conversão da Chuva Diária para Chuva de 24 Horas:** Primeiramente, é necessário converter a precipitação de "um dia pluviométrico" (que pode representar a leitura em um horário fixo, como 7h da manhã) para uma precipitação de "24 horas contínuas". Para isso, aplica-se o coeficiente de ajuste de 1,14, conforme recomendado pela metodologia. **A Tabela 5** detalha a aplicação deste fator para as chuvas de projeto.
- 2. Identificação da Isozona e Determinação das Chuvas de Curta Duração:** Na etapa seguinte, foi identificado no Mapa das Isozonas (Figura 6) que a área do projeto está localizada na Isozona F. Com

base nesta classificação, foram consultadas no quadro 3 as relações percentuais correspondentes para esta isozona, especificamente as relações 6min/24h e 1h/24h.

3. **Aplicação dos Fatores e Desagregação:** Finalmente, os percentuais obtidos foram aplicados sobre os valores de chuva de 24 horas (calculados na Etapa 1) para cada tempo de recorrência, resultando nas alturas de precipitação para as durações de 6 minutos e 1 hora. Estes valores servem como pontos de referência para a construção das curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF).

Tabela 5: Altura de precipitação para tempos de duração inferior a 24 horas.

| Altura de precipitação para tempos de duração inferior a 24:00hs | | | |
|--|--------|------|--------|
| P5 | 112,20 | 1,14 | 127,91 |
| P10 | 134,21 | 1,14 | 153,00 |
| P15 | 146,63 | 1,14 | 167,16 |
| P20 | 155,33 | 1,14 | 177,08 |
| P25 | 162,03 | 1,14 | 184,71 |
| P50 | 182,66 | 1,14 | 208,23 |
| P100 | 203,14 | 1,14 | 231,58 |

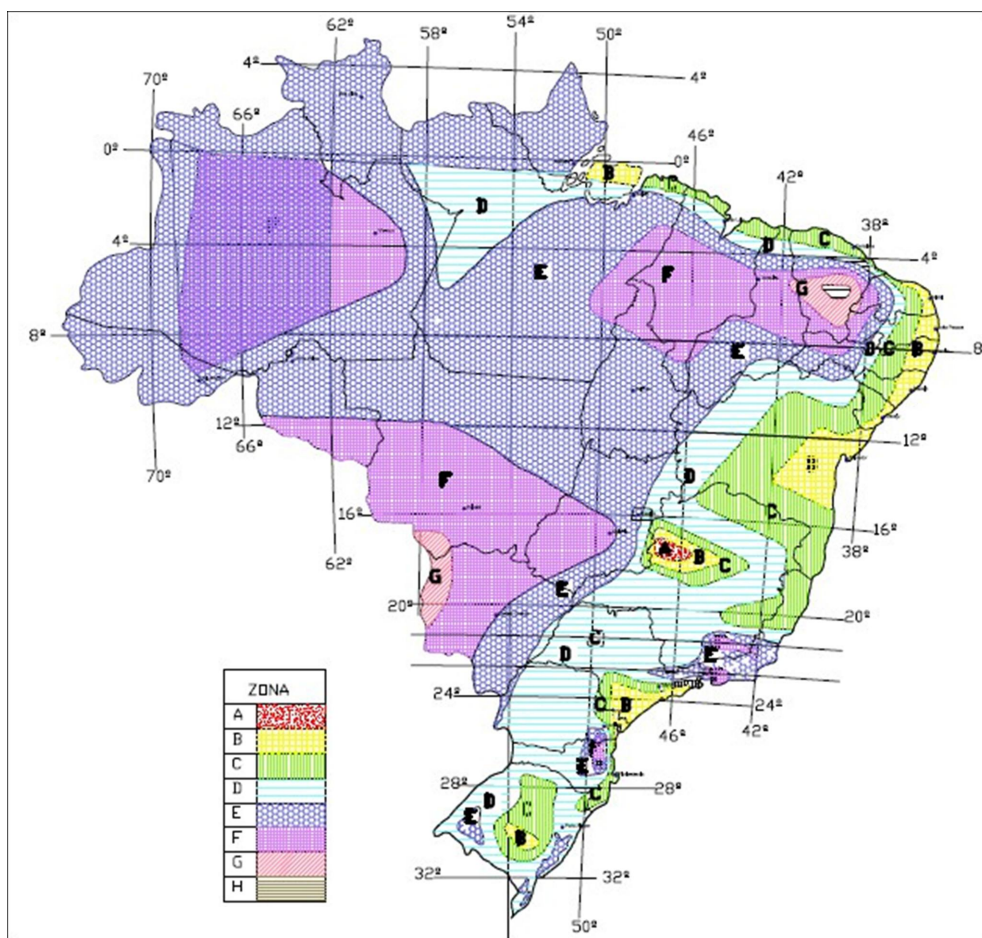


Figura 6: Mapa das Isozonas.

Quadro 3: Porcentagem das relações de chuvas e duração.

| Isozonas de Igual Relação | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--------|----------------------|------|
| Tempo de Recorrência | | | | | | | | | | | | |
| Zona | 1 Hora/24 horas/Chuva (A) | | | | | | | | | | 6 min/24 h/Chuva (B) | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 50 | 100 | 1.000 | 10.000 | 5-50 | 100 |
| 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 | 48,8 | 48,6 | 48,3 | 47,8 | 46,3 | 44,8 | 16,7 | 14,9 |

Tabela 6: Relação de 6 min./24 horas e de 1 hora/24 horas.

| Relação de 6 min / 24 horas e de 1 hora / 24 horas | | | | | | | |
|--|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Relações | Período de retorno Tr (anos) | | | | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 50 | 100 |
| Rel. 1 h / 24 h (a) | 0,460 | 0,455 | 0,453 | 0,451 | 0,449 | 0,445 | 0,441 |
| Rel. 6 min / 24 h (b) | 0,139 | 0,139 | 0,139 | 0,139 | 0,139 | 0,139 | 0,124 |

Tabela 7: Altura de precipitação com duração de 6 minutos e 1 hora.

| Altura de Precipitação com Duração de 6 min e de 1 hora | | | | | | | |
|---|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Relações | Período de retorno Tr (anos) | | | | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 50 | 100 |
| Rel. 1 h / 24 h (a) | 58,84 | 69,62 | 75,72 | 79,86 | 82,94 | 92,66 | 102,13 |
| Rel. 6 min / 24 h (b) | 17,78 | 21,27 | 23,24 | 24,61 | 25,67 | 28,94 | 28,72 |

Tabela 8: Altura pluviométrica em mm.

| Com estes dados traça-se no papel probabilístico de Gumbel as retas das Precipitações para cada tempo de recorrência | | | | | | | |
|--|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Altura de Pluviométrica (mm) | | | | | | | |
| Durações | Período de retorno Tr (anos) | | | | | | |
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 50 | 100 |
| 6 min | 17,78 | 21,27 | 23,24 | 24,61 | 25,67 | 28,94 | 28,72 |
| 1 hora | 58,84 | 69,62 | 75,72 | 79,86 | 82,94 | 92,66 | 102,13 |
| 24 horas | 127,91 | 153,00 | 167,16 | 177,08 | 184,71 | 208,23 | 231,58 |

Os valores de precipitação para durações de 6 minutos, 1 hora e 24 horas, calculados para diferentes tempos de recorrência e consolidados na Tabela 9, servem como pontos de referência para a definição das curvas de chuva do projeto.

Utilizando um papel de probabilidade logarítmico (com os tempos de recorrência em escala logarítmica), foram traçadas as curvas que representam o comportamento da precipitação para cada uma dessas durações fixas, conforme ilustrado no Gráfico 1.

A partir das curvas de precipitação-frequência traçadas, as alturas pluviométricas para durações intermediárias, que não foram diretamente calculadas pelo método das Isozonas, foram obtidas por interpolação e extrapolação gráfica e numérica. Os resultados completos deste procedimento, que fornecem um espectro detalhado de alturas de chuva para diversas durações e frequências, estão apresentados de forma consolidada na Tabela 10.

Tabela 9: Precipitação - Duração - Frequência.

| Duração | Precipitação - Duração - Frequência | | | | | | |
|----------|-------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| | Altura de Precipitação (mm) | | | | | | |
| | 5 anos | 10 anos | 15 anos | 20 anos | 25 anos | 50 anos | 100 anos |
| 6 min | 17,78 | 21,27 | 23,24 | 24,61 | 25,67 | 28,94 | 28,72 |
| 10 min | 26,89 | 31,99 | 34,88 | 36,87 | 38,38 | 43,08 | 45,00 |
| 15 min | 34,12 | 40,51 | 44,12 | 46,60 | 48,46 | 54,30 | 57,93 |
| 20 min | 39,25 | 46,55 | 50,68 | 53,50 | 55,62 | 62,26 | 67,10 |
| 25 min | 43,23 | 51,23 | 55,77 | 58,86 | 61,16 | 68,44 | 74,22 |
| 30 min | 46,48 | 55,06 | 59,92 | 63,23 | 65,70 | 73,48 | 80,03 |
| 35 min | 49,23 | 58,30 | 63,44 | 66,93 | 69,53 | 77,75 | 84,94 |
| 40 min | 51,61 | 61,10 | 66,48 | 70,13 | 72,85 | 81,44 | 89,20 |
| 45 min | 53,71 | 63,58 | 69,17 | 72,96 | 75,78 | 84,70 | 92,96 |
| 50 min | 55,59 | 65,79 | 71,57 | 75,49 | 78,40 | 87,62 | 96,32 |
| 55 min | 57,29 | 67,79 | 73,74 | 77,77 | 80,77 | 90,26 | 99,35 |
| 60 min | 58,84 | 69,62 | 75,72 | 79,86 | 82,94 | 92,66 | 102,13 |
| 65 min | 60,58 | 71,72 | 78,03 | 82,31 | 85,50 | 95,57 | 105,39 |
| 70 min | 62,19 | 73,66 | 80,16 | 84,58 | 87,87 | 98,27 | 108,41 |
| 75 min | 63,69 | 75,47 | 82,14 | 86,69 | 90,08 | 100,78 | 111,22 |
| 80 min | 65,09 | 77,17 | 84,00 | 88,66 | 92,15 | 103,13 | 113,85 |
| 85 min | 66,41 | 78,76 | 85,75 | 90,52 | 94,09 | 105,33 | 116,32 |
| 90 min | 67,65 | 80,26 | 87,39 | 92,26 | 95,92 | 107,41 | 118,64 |
| 95 min | 68,83 | 81,67 | 88,95 | 93,92 | 97,65 | 109,37 | 120,85 |
| 100 min | 69,94 | 83,02 | 90,42 | 95,49 | 99,29 | 111,24 | 122,94 |
| 105 min | 71,00 | 84,30 | 91,83 | 96,98 | 100,86 | 113,01 | 124,92 |
| 110 min | 72,01 | 85,52 | 93,16 | 98,40 | 102,35 | 114,71 | 126,82 |
| 115 min | 72,98 | 86,69 | 94,44 | 99,76 | 103,77 | 116,32 | 128,63 |
| 120 min | 73,90 | 87,80 | 95,67 | 101,06 | 105,13 | 117,87 | 130,36 |
| 360 min | 97,78 | 116,63 | 127,28 | 134,67 | 140,32 | 157,82 | 175,11 |
| 480 min | 104,03 | 124,18 | 135,55 | 143,47 | 149,53 | 168,28 | 186,83 |
| 600 min | 108,88 | 130,03 | 141,97 | 150,30 | 156,68 | 176,40 | 195,92 |
| 720 min | 112,85 | 134,82 | 147,22 | 155,87 | 162,51 | 183,03 | 203,35 |
| 1440 min | 127,91 | 153,00 | 167,16 | 177,08 | 184,71 | 208,23 | 231,58 |

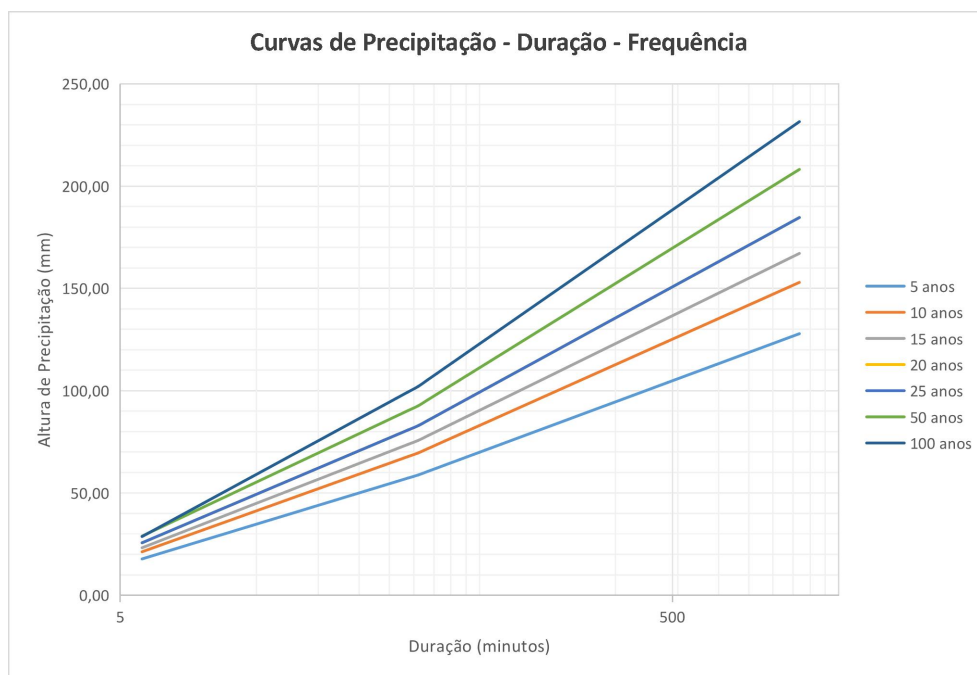


Gráfico 6: Curvas de Precipitação - Duração - Frequência.

A tabela a seguir representa a consolidação final da análise de frequência pluviométrica, apresentando os valores de Intensidade Pluviométrica (em mm/h) para um amplo espectro de durações e para os diferentes tempos de recorrência de projeto. Estes dados foram derivados a partir das alturas de precipitação calculadas e desagregadas nas etapas anteriores.

Esta matriz de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) é a ferramenta fundamental para o dimensionamento hidrológico, pois permite obter diretamente a intensidade da chuva de projeto para uma duração específica, que geralmente corresponde ao tempo de concentração da bacia de contribuição. Ela sintetiza o comportamento das chuvas extremas na região e serve como principal dado de entrada para os métodos de cálculo de vazão de pico.

Tabela 10: Intensidade - Duração - Frequência (IDF).

| Intensidade - Duração - Frequência | | | | | | | |
|------------------------------------|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Duração | Intensidade Pluviométrica (mm/h) | | | | | | |
| | 5 anos | 10 anos | 15 anos | 20 anos | 25 anos | 50 anos | 100 anos |
| 0,10 horas | 177,79 | 212,68 | 232,36 | 246,14 | 256,75 | 289,45 | 287,16 |
| 0,17 horas | 161,33 | 191,96 | 209,28 | 221,22 | 230,27 | 258,48 | 270,01 |
| 0,25 horas | 136,47 | 162,03 | 176,49 | 186,40 | 193,84 | 217,20 | 231,72 |
| 0,33 horas | 117,75 | 139,65 | 152,04 | 160,50 | 166,85 | 186,79 | 201,30 |
| 0,42 horas | 103,75 | 122,96 | 133,84 | 141,25 | 146,79 | 164,25 | 178,12 |
| 0,50 horas | 92,96 | 110,12 | 119,85 | 126,46 | 131,40 | 146,97 | 160,06 |
| 0,58 horas | 84,39 | 99,94 | 108,75 | 114,73 | 119,20 | 133,28 | 145,62 |
| 0,67 horas | 77,41 | 91,65 | 99,72 | 105,20 | 109,28 | 122,17 | 133,80 |
| 0,75 horas | 71,61 | 84,77 | 92,22 | 97,28 | 101,04 | 112,94 | 123,94 |
| 0,83 horas | 66,70 | 78,95 | 85,88 | 90,58 | 94,08 | 105,14 | 115,58 |
| 0,92 horas | 62,49 | 73,95 | 80,44 | 84,84 | 88,11 | 98,46 | 108,39 |
| 1,00 horas | 58,84 | 69,62 | 75,72 | 79,86 | 82,94 | 92,66 | 102,13 |
| 1,08 horas | 55,92 | 66,20 | 72,03 | 75,98 | 78,92 | 88,22 | 97,28 |
| 1,17 horas | 53,30 | 63,14 | 68,71 | 72,49 | 75,32 | 84,23 | 92,92 |
| 1,25 horas | 50,95 | 60,38 | 65,72 | 69,35 | 72,07 | 80,62 | 88,97 |
| 1,33 horas | 48,82 | 57,87 | 63,00 | 66,50 | 69,11 | 77,34 | 85,38 |
| 1,42 horas | 46,88 | 55,59 | 60,53 | 63,89 | 66,42 | 74,35 | 82,11 |
| 1,50 horas | 45,10 | 53,50 | 58,26 | 61,51 | 63,95 | 71,61 | 79,10 |
| 1,58 horas | 43,47 | 51,58 | 56,18 | 59,32 | 61,67 | 69,08 | 76,32 |
| 1,67 horas | 41,96 | 49,81 | 54,25 | 57,29 | 59,58 | 66,74 | 73,76 |
| 1,75 horas | 40,57 | 48,17 | 52,47 | 55,42 | 57,63 | 64,58 | 71,38 |
| 1,83 horas | 39,28 | 46,65 | 50,82 | 53,67 | 55,83 | 62,57 | 69,17 |
| 1,92 horas | 38,08 | 45,23 | 49,27 | 52,05 | 54,14 | 60,69 | 67,11 |
| 2,00 horas | 36,95 | 43,90 | 47,83 | 50,53 | 52,57 | 58,94 | 65,18 |
| 6,00 horas | 16,30 | 19,44 | 21,21 | 22,45 | 23,39 | 26,30 | 29,19 |
| 8,00 horas | 13,00 | 15,52 | 16,94 | 17,93 | 18,69 | 21,04 | 23,35 |
| 10,00 horas | 10,89 | 13,00 | 14,20 | 15,03 | 15,67 | 17,64 | 19,59 |
| 12,00 horas | 9,40 | 11,23 | 12,27 | 12,99 | 13,54 | 15,25 | 16,95 |
| 24,00 horas | 5,33 | 6,38 | 6,97 | 7,38 | 7,70 | 8,68 | 9,65 |
| MÉDIAS | 62,33 | 74,00 | 80,60 | 85,11 | 88,51 | 99,16 | 107,08 |

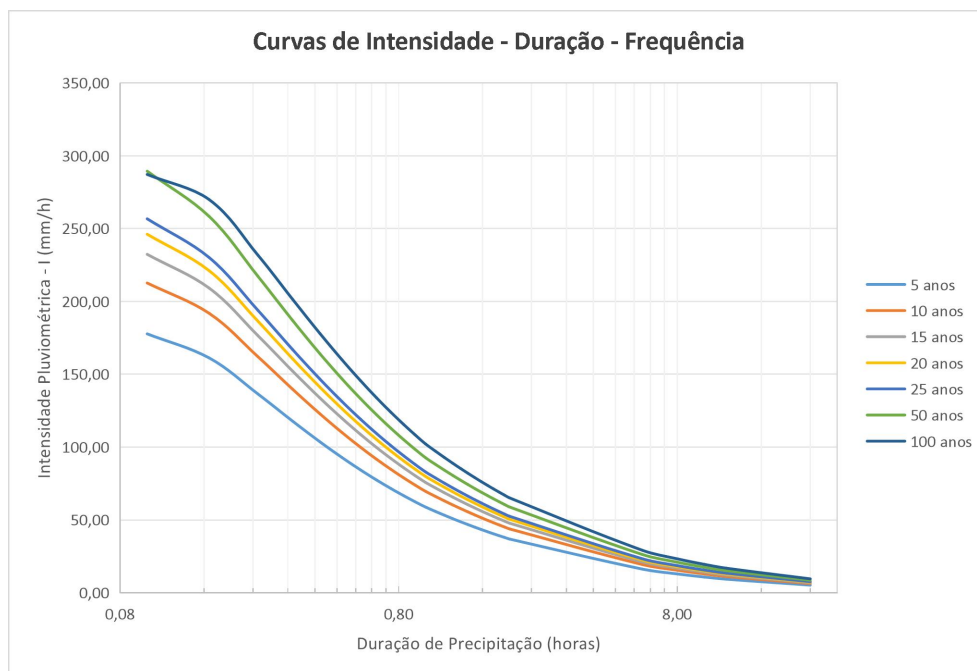


Gráfico 7: Curvas de Intensidade - Duração - Frequência (IDF).

9. PARÂMETROS DE PROJETO

Os parâmetros de projeto são cruciais para a eficácia dos sistemas de drenagem e gestão de águas pluviais. Eles garantem que as infraestruturas hidráulicas sejam adequadas para suportar as condições hídricas específicas de cada bacia, promovendo a segurança e a sustentabilidade dos recursos hídricos. A correta aplicação desses parâmetros é essencial para prevenir alagamentos e assegurar o desempenho adequado das estruturas projetadas.

9.1. DETERMINAÇÃO DAS DESCARGAS DE PROJETO

A escolha da metodologia para o cálculo das vazões máximas prováveis é crucial para o desenvolvimento correto dos estudos hidrológicos. A precisão desses cálculos é fundamental para dimensionar adequadamente obras hidráulicas e sistemas de drenagem, assegurando a eficácia na gestão dos recursos hídricos e na prevenção de inundações.

Para o cálculo dessas vazões, existem várias fórmulas empíricas e o método racional, que é amplamente utilizado devido à sua simplicidade e aplicabilidade em bacias de pequeno e médio porte. O método racional relaciona a intensidade da chuva, a área da bacia e o coeficiente de escoamento superficial, fornecendo uma estimativa prática das vazões de pico.

Em bacias de maior porte, são frequentemente utilizados hidrogramas unitários, que representam a resposta da bacia a uma precipitação unitária. Esses hidrogramas permitem uma análise detalhada dos fluxos de água ao longo do tempo, proporcionando uma compreensão mais precisa do comportamento hidrológico da bacia e auxiliando no planejamento e gestão eficaz dos recursos hídricos.

De acordo com a IS-203, os métodos de cálculo das vazões de projeto são função da área da bacia de contribuição, devendo ser adotados os limites constantes descrito abaixo:

Quadro 4 - Limites dos métodos de cálculo das vazões.

| Área da Bacia | Método de Cálculo |
|--|--------------------------|
| Até 4 km ² | Racional |
| 4 km ² a 10 km ² | Racional com Coeficiente |
| Acima de 10 km ² | Hidrograma Triangular |

Fonte: DNIT, 2006.

9.1.1. Método Racional - Pequenas Bacias Área ≤ 4 km²

Para estas bacias com áreas de até 4,00 km², utiliza-se o método racional, cuja fórmula é:

$$Q = 0.0028 \times C \times I \times A$$

Onde:

Q = Vazão máxima, em m³/s;

A = Área da bacia, em ha;

I = Intensidade média de precipitação, em mm/h;

C = Coeficiente de deflúvio de Peltier - J.L Bennefant.

9.1.2. Método Racional com Coeficiente de Retardo - Grandes Bacias 4 km² < Área ≤ 10 km²

Para estas bacias com áreas entre 4,00 a 10,00 km², utiliza-se o Método Racional com coeficiente de retardo, cuja fórmula é:

$$Q = 0.28 \times C \times I \times A \times \emptyset$$

Onde:

Q = Vazão máxima, em m³/s;

A = Área da bacia, em km²;

I = Intensidade média de precipitação, em mm/h;

C = Coeficiente de deflúvio de Burkli - Ziegler;

\emptyset = Coeficiente de retardo.

A expressão para o coeficiente de retardo é:

$$\emptyset = \frac{1}{(100 \times A)^{1/n}}$$

Para A em km²

$n = 4$, pequenas declividades, inferiores a 0,5 % (Burkli Ziegler);

$n = 5$, médias declividades, entre 0,5 e 1,0 % (MC MATH);

$n = 6$, fortes declividades, superiores a 1,0% (BRIX).

9.1.3. Método do Hidrograma Triangular Sintético - Grandes Bacias Área > 10 km²

Para bacias com áreas acima de 10 km², utiliza-se o Método do Hidrograma Triangular Sintético, um conceito que pode ser aplicado através de diferentes níveis de complexidade metodológica. Em contraposição a abordagens que utilizam equações empíricas para a estimativa direta da vazão de pico, este estudo empregará uma modelagem hidrológica completa por convolução, que simula a resposta dinâmica da bacia ao evento chuvoso e será desenvolvida através dos seguintes passos:

1. **Geração do Hietograma de Projeto:** A precipitação total de projeto será distribuída no tempo através das Curvas de Huff, resultando em um hietograma que descreve a variação da intensidade da chuva ao longo da duração do evento.
2. **Cálculo da Precipitação Efetiva:** Utilizando o método SCS-CN, o hietograma de chuva total será transformado em um hietograma de chuva efetiva, que quantifica a parcela da chuva que se converte em escoamento superficial em cada intervalo de tempo.
3. **Derivação do Hidrograma Unitário Sintético (HUS):** A resposta característica da bacia será definida pelo HUS, cujos parâmetros (tempo de pico, tempo de base, vazão de pico unitária) são estimados com base nas características físicas da bacia, como sua área e tempo de concentração.
4. **Obtenção do Hidrograma de Vazão por Convolução:** Finalmente, o hidrograma de chuva efetiva será operado com o Hidrograma Unitário por meio do processo de convolução discreta. O resultado desta operação é o hidrograma de escoamento superficial direto, cujo valor máximo corresponde à vazão de pico de projeto (Qp).

Os detalhes de cada uma dessas etapas serão apresentados nas seções subsequentes deste relatório.

9.2. DEFINIÇÃO DOS TEMPOS DE RECORRÊNCIA

O Tempo de Recorrência (TR), também conhecido como período de retorno, é uma medida estatística que expressa a frequência média com que um evento hidrológico (como uma chuva ou vazão) de uma determinada magnitude é igualado ou superado.

A escolha do tempo de recorrência não é arbitrária, mas sim uma decisão de projeto que define o nível de segurança hidrológica e o risco admissível para a infraestrutura. Para padronizar essa escolha, os valores adotados neste estudo seguem as diretrizes do Manual de Hidrologia Básica do DNIT (2005), que estabelece os tempos de recorrência mínimos para diferentes tipos de obras de drenagem, conforme apresentado no quadro a seguir. A definição do TR é essencial para o correto dimensionamento das estruturas, assegurando que elas possam suportar as solicitações hidráulicas geradas por eventos pluviométricos extremos compatíveis com sua importância e vida útil.

Quadro 5 - Tempos de Recorrência.

| Espécie | Período de recorrência (anos) |
|--------------------------|-------------------------------|
| Drenagem sub-superficial | 1 |
| Drenagem superficial | 5 a 10 |
| Bueiro | 10 a 25 e 50 |
| Ponte | 50 a 100 |

Fonte: DNIT, 2005.

Para o presente estudo, foi adotado um período de recorrência de **100 anos**.

9.3. COEFICIENTE DE ESCOAMENTO (C)

O Coeficiente de Escoamento, também conhecido como “coeficiente de runoff” e simbolizado pela letra “C”, é um parâmetro adimensional fundamental na hidrologia, que quantifica a relação entre a chuva que cai sobre uma bacia e o volume que efetivamente se transforma em escoamento superficial direto. Em outras palavras, ele representa a fração da precipitação total que, após descontadas as perdas por abstrações (como infiltração no solo, interceptação pela vegetação e armazenamento em depressões), contribui para a vazão no ponto de interesse.

Esse coeficiente deve ser utilizado de maneira compatível com o método de cálculo de vazão e com as características da área da bacia hidrográfica, garantindo a precisão das estimativas de escoamento superficial e a eficiência dos sistemas de drenagem projetados.

Quadro 6 - Valores do Coeficiente de Run-off “C” – Método Racional.

| R. Peltier / J.L. Bonnenfant | | | | | | | | |
|---|--------------|--------|---------|------|------------------|--------|---------|------|
| Natureza da cobertura | 0 < A < 10ha | | | | 10hs < A < 400ha | | | |
| | <5% | 5%-10% | 10%-30% | >30% | <5% | 5%-10% | 10%-30% | >30% |
| Plataformas e pavimentos de estradas | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 | 0,95 |
| Terrenos Desnudos ou Erodidos | 0,55 | 0,65 | 0,70 | 0,75 | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,70 |
| Culturas Correntes e Pequenos Bosques (região montanhosa com rocha) | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,42 | 0,55 | 0,60 | 0,65 |
| Matas e Cerrados (região montanhosa) | 0,45 | 0,50 | 0,55 | 0,60 | 0,30 | 0,36 | 0,42 | 0,50 |
| Floresta Comum (região plana) | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,18 | 0,20 | 0,25 | 0,30 |
| Floresta Densa (região plana com alagadiço) | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,40 | 0,15 | 0,18 | 0,22 | 0,25 |

Fonte: Jabor (2020).

Quadro 7 - Valores do Coeficiente de Run-off “C” – Método Racional com coeficiente de retardo.

| Burklin-Ziegler | C |
|--|-------------|
| Áreas densamente construídas | 0,70 a 0,75 |
| Zonas residenciais comuns | 0,55 a 0,65 |
| Zonas urbanas (região montanhosa) | 0,30 a 0,45 |
| Campos de cultura (região plana) | 0,20 a 0,30 |
| Parques, jardins (plana com alagadiço) | 0,15 a 0,25 |

Fonte: Jabor (2020).

9.4. NÚMERO DE CURVA (CURVE NUMBER - CN)

O método do Número da Curva (Curve Number - CN), desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS), atual Natural Resources Conservation Service (NRCS), é uma das metodologias mais difundidas para estimar a precipitação efetiva, ou seja, a parcela da chuva total que se transforma em escoamento superficial. Diferentemente de métodos que utilizam um coeficiente de escoamento constante (como o Método Racional), o método do CN reconhece que a capacidade de uma bacia gerar escoamento não é linear e varia em função da magnitude da própria chuva e das condições de umidade antecedente do solo.

O parâmetro CN é um número adimensional que varia de 0 (para bacias com infiltração infinita, sem geração de escoamento) a 100 (para superfícies totalmente impermeáveis, onde toda a chuva se converte em escoamento). Ele integra, em um único valor, as principais características que governam o processo de infiltração e abstração de uma bacia hidrográfica. Sua determinação depende fundamentalmente da análise conjunta de três fatores:

5. **Tipo de Solo (Grupo Hidrológico):** Os solos são classificados em quatro grupos hidrológicos (A, B, C e D) em função do seu potencial de infiltração, variando do Grupo A (solos arenosos, com alta taxa de infiltração) ao Grupo D (solos argilosos, com baixa taxa de infiltração e alto potencial de escoamento).
6. **Uso e Ocupação do Solo:** A cobertura vegetal e o tipo de uso da terra (florestas, pastagens, áreas urbanas, cultivados, etc) exercem influência direta na interceptação da chuva e na taxa de infiltração.
7. **Condição de Cobertura e Manejo:** Refere-se à qualidade da cobertura vegetal (pastagens boas ou pobres, etc) e às práticas de manejo adotadas (por exemplo, terraceado em nível, em fileiras retas), que podem favorecer ou dificultar a infiltração.

Conforme destaca Tucci (2009), o CN não é apenas um parâmetro estático, mas reflete o balanço hídrico da bacia. Ele está diretamente relacionado à retenção potencial máxima de água no solo (S), que representa a capacidade máxima de armazenamento de água da bacia após o início do escoamento. A correta determinação do CN, seja por meio de tabelas padronizadas que cruzam os três fatores acima ou por meio de um CN ponderado pela área para bacias heterogêneas, é a etapa essencial para a aplicação do método SCS e para a obtenção de estimativas de vazão de pico mais realistas e representativas da resposta hidrológica da bacia.

Quadro 8 - Classificação hidrológica do Solo para as condições brasileiras (Sartori, 2004).

| Grupo do Solo | Características do Solo |
|---------------|--|
| A | Os solos deste grupo hidrológico possuem alto potencial de infiltração, sendo profundos a muito profundos (>100 cm), bem drenados e com elevada resistência à erosão. Caracterizam-se pela alta porosidade e baixo gradiente textural (< 1,20), sendo formados por argilas de baixa atividade (tipo 1:1). Esta classificação abrange solos de textura média, bem como solos de textura argilosa ou muito argilosa, desde que a estrutura garanta alta macroporosidade em todo o perfil. A combinação de texturas entre os horizontes superficial e subsuperficial pode incluir, por exemplo, média/média ou argilosa/argilosa. |
| B | Os solos pertencentes a este grupo hidrológico apresentam um potencial de infiltração moderado. São solos profundos (100 a 200 cm) e porosos, com um gradiente textural que varia entre 1,20 e 1,50, e possuem moderada resistência à erosão. A textura pode ser arenosa ao longo do perfil ou média com um horizonte superficial arenoso. A classificação também inclui solos de textura argilosa ou muito argilosa, desde que a estrutura do perfil garanta uma boa macroporosidade. São formados por argilas de baixa atividade (tipo 1:1), e a combinação textural entre os horizontes pode ser variada, incluindo, por exemplo, arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa e argilosa/muito argilosa. |
| C | Os solos deste grupo hidrológico caracterizam-se por um baixo potencial de infiltração e, consequentemente, uma alta geração de escoamento superficial. São solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm), com baixa resistência à erosão. Apresentam um gradiente textural superior a 1,50, frequentemente com uma mudança textural abrupta entre os horizontes. Estão associados a argilas de baixa atividade (Tb), e suas combinações texturais podem incluir arenosa/média e média/argilosa (ambas com mudança textural abrupta), bem como arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa. |
| D | Este grupo hidrológico compreende os solos com o maior potencial de geração de escoamento superficial. São solos que apresentam uma taxa de infiltração muito baixa e pouquíssima resistência à erosão. A classificação inclui solos rasos (com profundidade inferior a 50 cm), solos orgânicos e solos argilosos associados a argilas de alta atividade (Ta). Também se enquadram aqui os solos pouco profundos com mudança textural abrupta, ou mesmo solos profundos que apresentam essa mudança textural abrupta aliada a argilas de alta atividade, com minerais do tipo 2:1. |

Quadro 9 - Nomenclatura dos Solos e seu respectivo enquadramento nos Grupos Hidrológicos (Sartori, 2004).

| Grupo do Solo | Nomenclatura dos Solos - Enquadramento nos Grupos Hidrológicos |
|---------------|---|
| A | LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso. |
| B | LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMARELO de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta. |
| C | ARGISSOLO pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÁPLICO ou HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS (latossólico); ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO. |
| D | NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA; Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta. |

Quadro 10 - Estimativa dos valores de Curva Número para áreas rurais (TUCCI, 1995).

| Uso do solo | Superfície do Solo | Grupo do Solo | | | |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------|----|----|----|
| | | A | B | C | D |
| Solo lavrado | Com sulcos retilíneos | 77 | 86 | 91 | 94 |
| | Em fileiras retas | 70 | 80 | 87 | 90 |
| Plantações regulares | Em curvas de nível | 67 | 77 | 83 | 87 |
| | Terraceado em nível | 64 | 76 | 84 | 88 |
| | Em fileiras retas | 64 | 76 | 84 | 88 |
| Plantações de cereais | Em curvas de nível | 62 | 74 | 82 | 85 |
| | Terraceado em nível | 60 | 71 | 79 | 82 |
| | Em fileiras retas | 62 | 75 | 83 | 87 |
| Plantações de legumes ou cultivados | Em curvas de nível | 60 | 72 | 81 | 84 |
| | Terraceado em nível | 57 | 70 | 78 | 89 |
| | Pobres | 68 | 79 | 86 | 89 |
| | Normais | 49 | 69 | 79 | 84 |
| | Boas | 39 | 61 | 74 | 80 |
| Pastagem em curvas de nível | Pobres, em curvas de nível | 47 | 67 | 81 | 88 |
| | Normais, em curvas de nível | 25 | 59 | 75 | 83 |
| | Boas, em curvas de nível | 6 | 35 | 70 | 79 |
| Campos permanentes | Normais | 30 | 58 | 71 | 78 |
| | Esparsas, de baixa transpiração | 45 | 66 | 77 | 83 |
| | Normais | 36 | 60 | 73 | 79 |
| | Densas, de alta transpiração | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Chácaras/estradas de terra | Normais | 56 | 75 | 86 | 91 |
| | Más | 72 | 82 | 87 | 89 |
| | De superfície dura | 74 | 84 | 90 | 92 |
| Florestas | Muitas esparsas, baixa transpiração | 56 | 75 | 86 | 91 |
| | Esparsas | 46 | 68 | 78 | 84 |
| | Densas, de alta transpiração | 26 | 52 | 62 | 69 |
| | Normais | 36 | 60 | 70 | 76 |

9.4.1. Metodologia adotada para determinação do CN da bacia

A determinação do Número da Curva (CN) para a bacia hidrográfica em estudo foi realizada por meio de técnicas de geoprocessamento, integrando dados de uso e cobertura do solo com informações pedológicas, a fim de obter um valor de CN ponderado que represente a heterogeneidade da área de drenagem. O procedimento metodológico foi executado nas seguintes etapas:

- **Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo:**

Utilizando imagens de satélite e ferramentas de classificação de imagens em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), foi gerado um mapa detalhado do uso e ocupação do solo da bacia. As classes de cobertura foram definidas de acordo com as categorias apresentadas na tabela de referência de Tucci, permitindo uma correlação direta com os valores de CN.

- **Definição dos Grupos Hidrológicos de Solo:**

Com base nos dados vetoriais do Mapa de Solos do Brasil do IBGE (2022), foi realizado o enquadramento das diferentes unidades pedológicas nos quatro Grupos Hidrológicos de Solo (A, B, C e D). Esta classificação foi executada com base nas características de infiltração e potencial de escoamento de cada tipo de solo, conforme os critérios descritos nas tabelas de referência, que relacionam a nomenclatura dos solos em conjunto com suas características, com o seu respectivo grupo hidrológico. O resultado desta etapa é um mapa dos Grupos Hidrológicos de Solo para toda a extensão da bacia.

- **Sobreposição de Dados e Atribuição do CN:**

Em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica), foi realizada a união dos dois mapas gerados: o de Uso e Cobertura do Solo e o de Grupos Hidrológicos de Solo. Esta operação resultou em um novo mapa de polígonos, onde cada polígono possui uma combinação única de uso do solo e grupo hidrológico. A cada um desses polígonos foi atribuído o valor de CN correspondente, extraído da tabela de Tucci (1995) ao cruzar a linha (Uso do Solo) com a coluna (Grupo do Solo).

- **Cálculo do CN Ponderado da Bacia:**

Com o mapa de CN devidamente espacializado, contendo os valores discretos de CN para cada combinação de solo e cobertura, procedeu-se ao cálculo do CN médio ponderado. Este valor, que representa a resposta hidrológica integrada de toda a bacia, foi calculado pela média dos valores de CN ponderada pela área de cada polígono.

Este valor final de CN ponderado é o parâmetro que será efetivamente empregado nos modelos hidrológicos subsequentes para estimar a precipitação efetiva e, conseqüentemente, a vazão de pico de projeto. Os mapas temáticos gerados ao longo deste processo são apresentados a seguir para ilustrar o desenvolvimento da análise.

9.4.2. Cálculo do CN médio ponderado da bacia de contribuição

O cálculo do Curve Number (CN) médio ponderado da bacia de contribuição foi realizado com base na área de cada feição com valor de CN atribuído. A operação é feita agrupando as feições pelo identificador de bacia, através da seguinte expressão:

$$\overline{CN}_{BACIA} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times CN_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Onde:

\overline{CN}_{BACIA} = Curve Number médio ponderado da bacia;

A_i = Área da i-ésima feição da bacia;

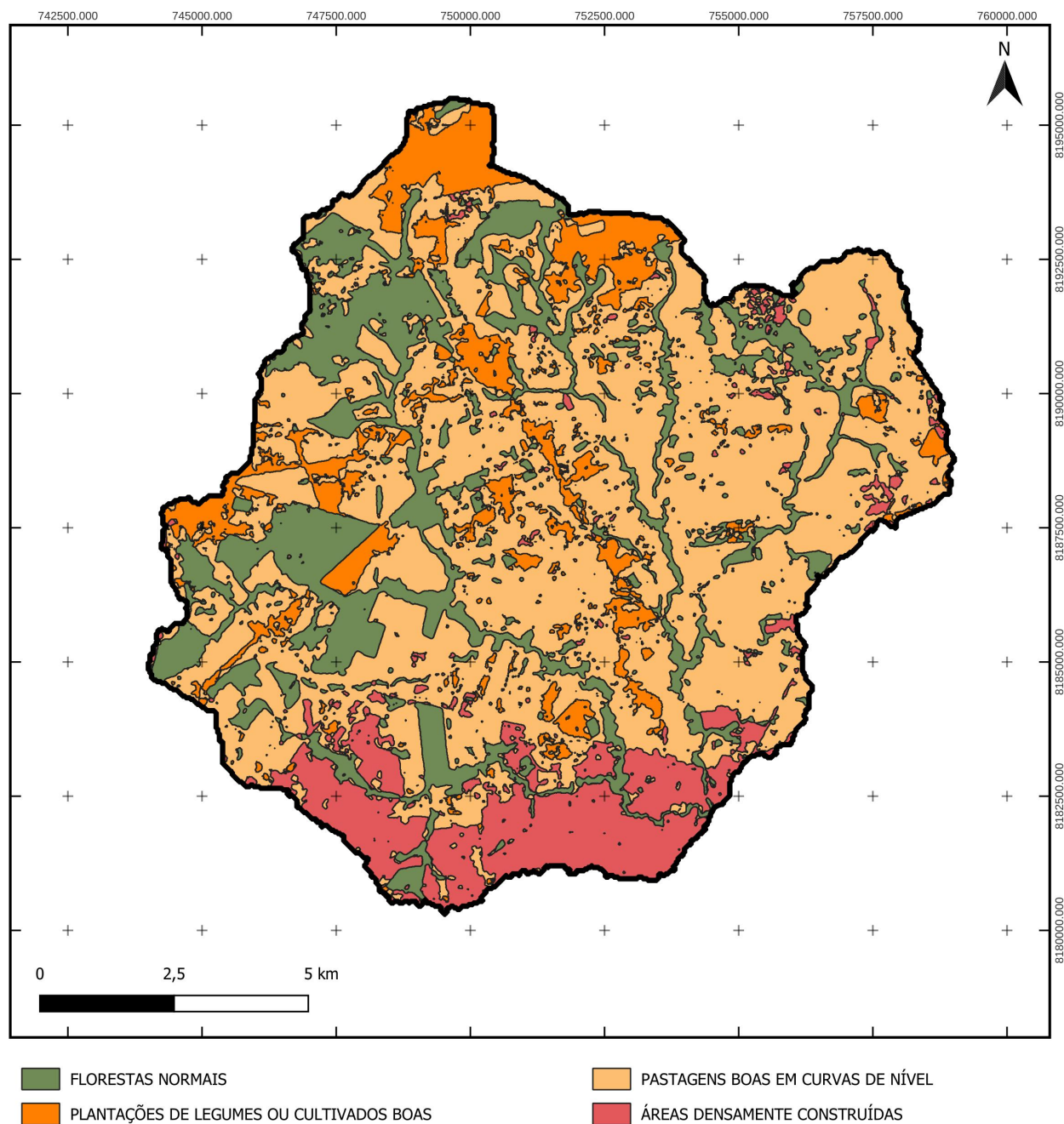
CN_i = Valor do Curve Number da i-ésima feição da bacia;

n = Número total de feições dentro da bacia.

Para o presente estudo, o Curve Number (CN) médio ponderado obtido para a referida bacia de contribuição foi: $\overline{CN}_{BACIA} = 47$.

Figura 7: Características de uso do solo da bacia de contribuição.

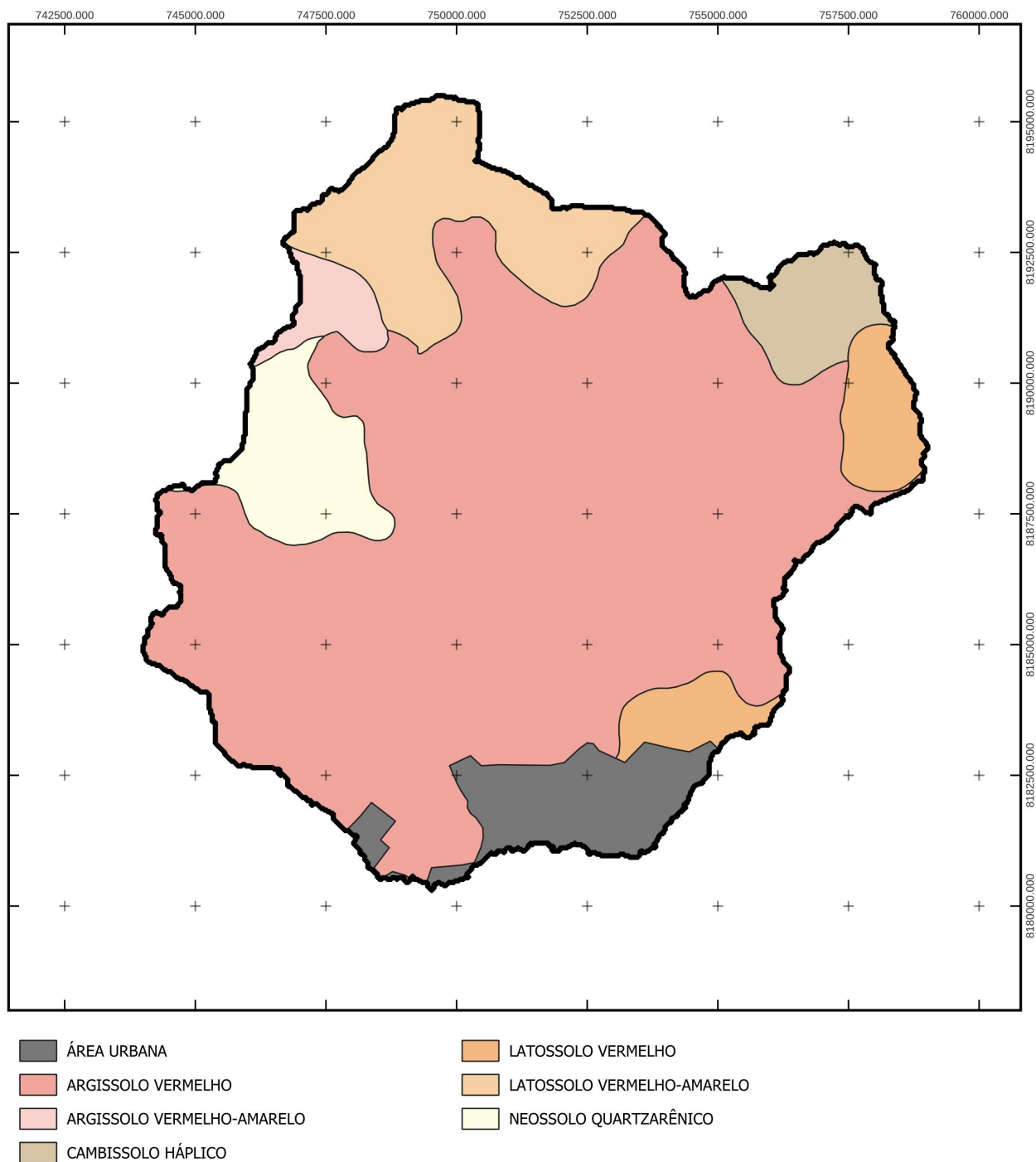
Uso do Solo



Fonte: Autor.

Figura 8: Características dos tipos de solo da bacia de contribuição.

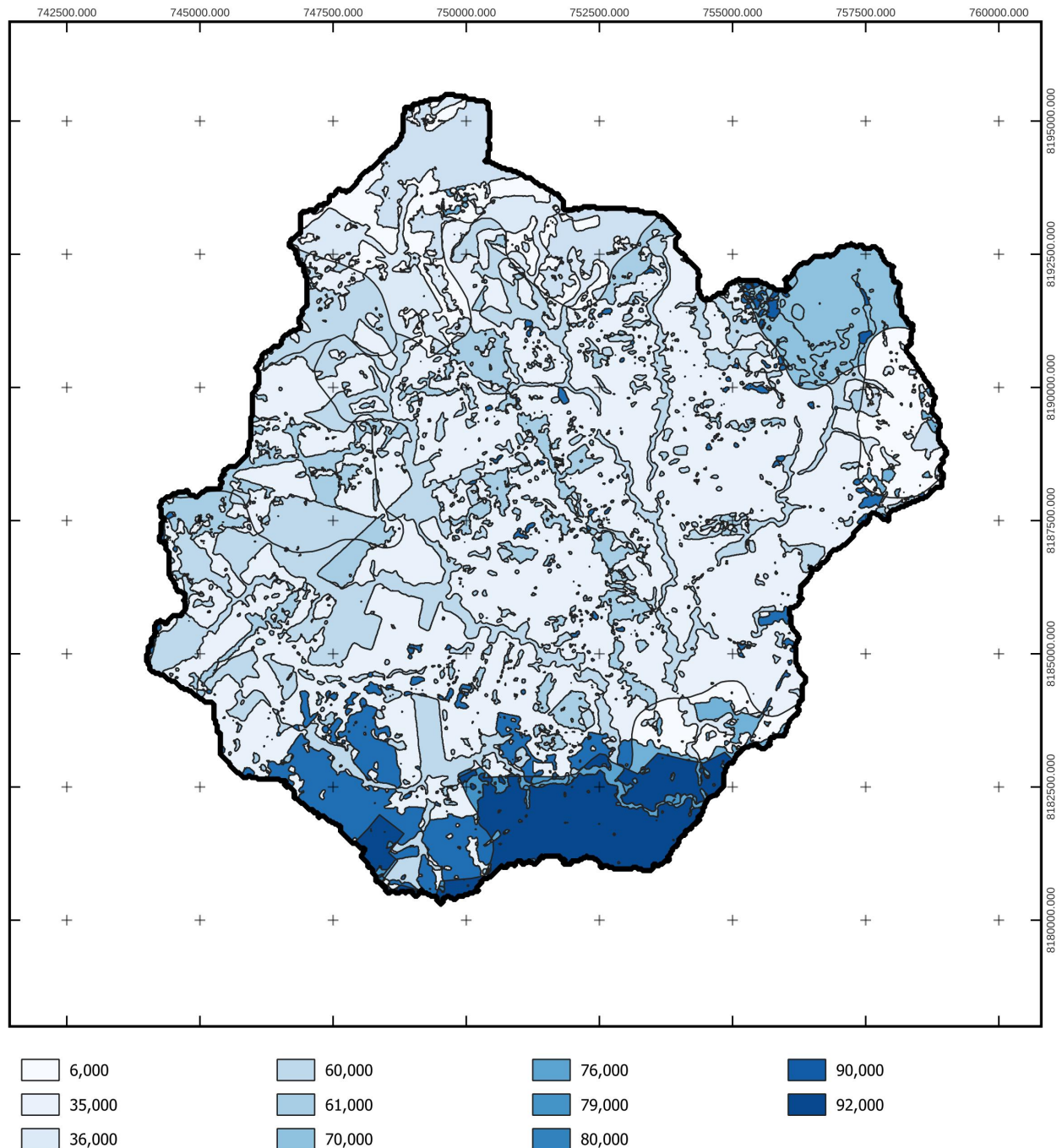
Tipos de Solo - IBGE



Fonte: IBGE adaptado pelo autor.

Figura 9: Valores de CN da bacia de contribuição.

Valores de CN



Fonte: Autor.

9.5. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração (T_c) é um parâmetro hidrológico fundamental que representa o tempo necessário para que toda a área da bacia hidrográfica passe a contribuir para o escoamento no seu exutório. A sua correta estimativa é crucial, pois define a duração da chuva crítica a ser utilizada no cálculo da vazão de pico.

A literatura técnica dispõe de um vasto número de equações empíricas para estimar o T_c , cada uma desenvolvida com base em características de bacias de diferentes regiões. Essa diversidade metodológica frequentemente leva a resultados divergentes quando aplicados a uma mesma bacia, exigindo do projetista uma escolha criteriosa da fórmula mais adequada.

Para este estudo, a seleção da equação considerou a robustez e a ampla validação em diversas condições de bacias. Dentre as formulações mais consagradas, destaca-se a equação da "California Culverts Practice" (1942). Esta fórmula, que é uma adaptação da clássica equação de Kirpich (1940), foi a escolhida para o presente trabalho por sua consistência e por apresentar resultados satisfatórios em um grande número de aplicações práticas na engenharia brasileira (Paiva e Paiva, 2003).

$$T_c = 57 \times \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0.385}$$

Onde:

T_c = Tempo de concentração, em minutos;

L = Comprimento do talvegue principal do curso d'água, em quilômetros;

Δh = Desnível altimétrico entre a seção e o ponto mais distante da bacia, em metros.

9.6. PRECIPITAÇÃO TOTAL DE PROJETO (P)

A Precipitação Total de Projeto (P), também denominada lâmina pluviométrica total, representa o volume de chuva acumulado (expresso em milímetros) que incide sobre a bacia hidrográfica durante o evento chuvoso crítico.

O cálculo de P deriva diretamente da intensidade da chuva de projeto (i) e de sua duração. Para fins de maximização da resposta hidrológica da bacia, assume-se que a duração da chuva crítica é igual ao Tempo de Concentração (T_c) da bacia. A intensidade (i), por sua vez, é um parâmetro estatístico obtido a partir das curvas Intensidade-Duração-Frequência (IDF), que para uma dada localidade estabelecem a relação funcional entre a intensidade média da precipitação, sua duração e sua frequência de ocorrência (ou Tempo de Retorno, TR).

A relação para o cálculo da precipitação total é dada por:

$$P = i \times \left(\frac{T_c}{60} \right)$$

Onde:

P = Precipitação total acumulada durante o evento de projeto, em milímetros;

i = Intensidade da chuva de projeto, em milímetros por hora;

T_c = Tempo de Concentração da bacia, em minutos.

10. DESENVOLVIMENTO DOS CÁLCULOS DA VAZÃO DE PICO

Com base nos parâmetros hidrológicos definidos nas seções anteriores — notadamente o Número da Curva (CN) ponderado da bacia, o Tempo de Concentração (T_c) e a Precipitação Total de Projeto (P) para o tempo de recorrência de 100 anos — esta seção apresenta o desenvolvimento detalhado dos cálculos para a determinação da Vazão de Pico (Q_p). Considerando as características da Bacia, a metodologia empregada, baseada no método do Soil Conservation Service (SCS), permite transformar o volume de chuva efetiva em um hidrograma de projeto, cujo ponto máximo representa a vazão crítica para o dimensionamento da estrutura hidráulica.

10.1. DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL DA CHUVA: CURVAS DE HUFF E GERAÇÃO DO HIETOGRAMA

A precipitação total de projeto, embora seja um parâmetro fundamental, representa apenas o volume total de chuva, sem descrever como sua intensidade varia ao longo do tempo. Para uma modelagem hidrológica realista, que busca simular a formação do hidrograma de projeto, é essencial definir a distribuição temporal da chuva, ou seja, construir o seu hietograma. Este hietograma é um gráfico de barras que representa a precipitação incremental (ou a intensidade) em intervalos de tempo sucessivos ao longo da duração total do evento.

Para estabelecer um padrão de distribuição temporal que seja representativo e tecnicamente embasado, foram utilizadas as Curvas de Huff (Huff, 1967). Desenvolvidas a partir da análise estatística de um vasto conjunto de tempestades observadas, essas curvas fornecem um método robusto para a temporalização da chuva. Elas são apresentadas de forma adimensional, relacionando a razão entre a precipitação acumulada e a precipitação total com a razão entre o tempo decorrido e a duração total da chuva (t/t_d).

As curvas de Huff (gráfico 8) são categorizadas em quatro quartis, cada um refletindo um padrão diferente de tempestade, com base na posição temporal do pico de intensidade.

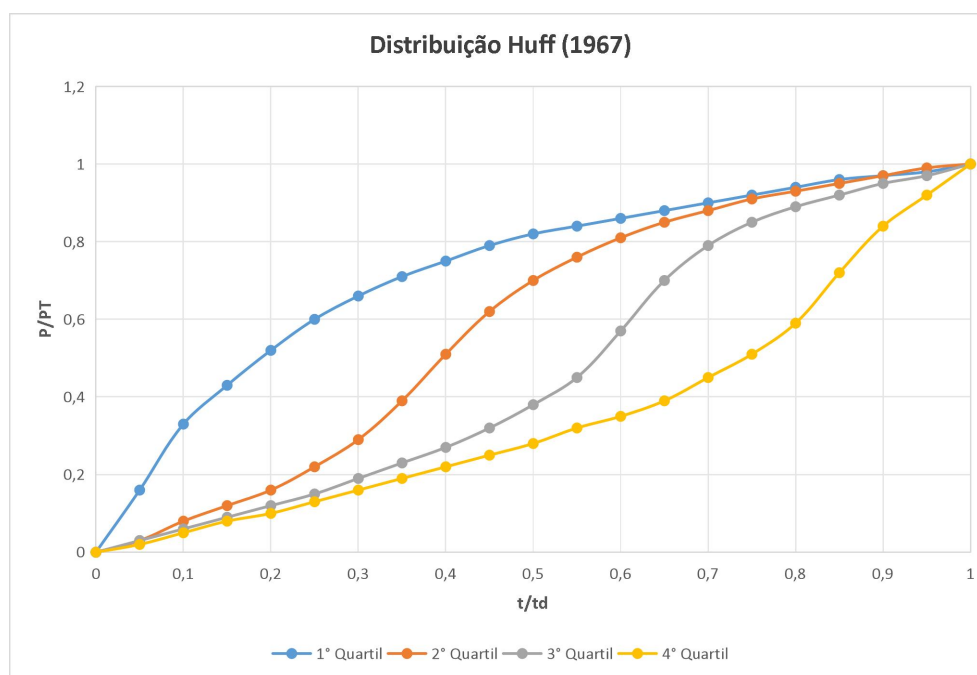


Gráfico 8: Curvas de Huff (1967).

A seleção do quartil apropriado para a modelagem segue um critério técnico baseado na duração total da chuva de projeto (t_d). Esta abordagem, adotada em diversas práticas de engenharia para simplificar a seleção na ausência de estudos meteorológicos específicos, correlaciona a duração do evento com o seu padrão temporal mais provável. A metodologia utilizada neste estudo adota a seguinte regra:

- **1º Quartil:** Chuvas com pico de intensidade antecipado, para durações (t_d) de até 6 horas.
- **2º Quartil:** Chuvas com pico de intensidade no segundo quarto do evento, para durações (t_d) entre 6 e 12 horas.
- **3º Quartil:** Chuvas com pico de intensidade no terceiro quarto do evento, para durações (t_d) entre 12 e 24 horas.
- **4º Quartil:** Chuvas com pico tardio, para durações (t_d) superiores a 24 horas.

Considerando que a duração da chuva de projeto calculada para este estudo é **$t_d = T_c = 234,98 \text{ min}$ (equivalente a 3,92 horas)**, o evento se enquadra na faixa entre 0 e 6 horas. Portanto, foi selecionado o **1º Quartil** para a distribuição temporal da chuva.

A aplicação da curva de Huff do 1º Quartil à precipitação total P e à duração total t_d permite derivar o hietograma acumulado (a curva de massa da chuva). Subtraindo-se os valores acumulados em passos de tempo sucessivos, obtêm-se os blocos incrementais de chuva, que representam a precipitação que incide sobre a bacia em cada intervalo de tempo discretizado. Estes blocos formam o hietograma, que será o principal dado de entrada para o modelo de transformação chuva-vazão. A seguir, são apresentadas a tabela de distribuição de Huff utilizada desenvolvida no estudo, e seu respectivo hietograma.

| TABELA DE DISTRIBUIÇÃO DE HUFF | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|--|------|--------|------------|
| %Tempo | 1º Quartil | 2º Quartil | 3º Quartil | 4º Quartil | | t | P | ΔP |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,05 | 0,16 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | | 0,20 | 25,24 | 25,24 |
| 0,1 | 0,33 | 0,08 | 0,06 | 0,05 | | 0,39 | 52,06 | 26,82 |
| 0,15 | 0,43 | 0,12 | 0,09 | 0,08 | | 0,59 | 67,83 | 15,77 |
| 0,2 | 0,52 | 0,16 | 0,12 | 0,1 | | 0,78 | 82,03 | 14,20 |
| 0,25 | 0,6 | 0,22 | 0,15 | 0,13 | | 0,98 | 94,65 | 12,62 |
| 0,3 | 0,66 | 0,29 | 0,19 | 0,16 | | 1,17 | 104,11 | 9,46 |
| 0,35 | 0,71 | 0,39 | 0,23 | 0,19 | | 1,37 | 112,00 | 7,89 |
| 0,4 | 0,75 | 0,51 | 0,27 | 0,22 | | 1,57 | 118,31 | 6,31 |
| 0,45 | 0,79 | 0,62 | 0,32 | 0,25 | | 1,76 | 124,62 | 6,31 |
| 0,5 | 0,82 | 0,7 | 0,38 | 0,28 | | 1,96 | 129,35 | 4,73 |
| 0,55 | 0,84 | 0,76 | 0,45 | 0,32 | | 2,15 | 132,51 | 3,15 |
| 0,6 | 0,86 | 0,81 | 0,57 | 0,35 | | 2,35 | 135,66 | 3,15 |
| 0,65 | 0,88 | 0,85 | 0,7 | 0,39 | | 2,55 | 138,82 | 3,15 |
| 0,7 | 0,9 | 0,88 | 0,79 | 0,45 | | 2,74 | 141,97 | 3,15 |
| 0,75 | 0,92 | 0,91 | 0,85 | 0,51 | | 2,94 | 145,13 | 3,15 |
| 0,8 | 0,94 | 0,93 | 0,89 | 0,59 | | 3,13 | 148,28 | 3,15 |
| 0,85 | 0,96 | 0,95 | 0,92 | 0,72 | | 3,33 | 151,44 | 3,15 |
| 0,9 | 0,97 | 0,97 | 0,95 | 0,84 | | 3,52 | 153,01 | 1,58 |
| 0,95 | 0,98 | 0,99 | 0,97 | 0,92 | | 3,72 | 154,59 | 1,58 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | 3,92 | 157,75 | 3,15 |

Tabela 11: Distribuição de Huff.

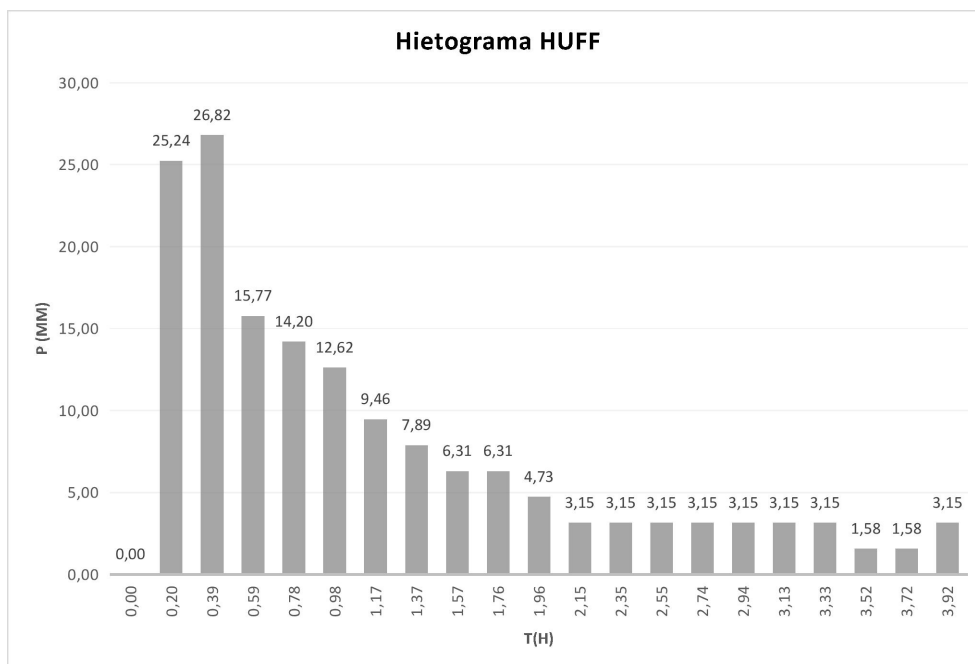


Gráfico 9: Hietograma de Huff.

10.2. HIDROGRAMA UNITÁRIO SINTÉTICO (HUS)

O Hidrograma Unitário (HU), introduzido por Sherman (1932), representa a resposta hidrológica de uma bacia a uma unidade de precipitação efetiva (1 cm), distribuída uniformemente sobre a área e ocorrendo durante um intervalo de tempo específico (D). Trata-se de uma função de transferência linear chuva-vazão, baseada nos princípios de linearidade e invariância temporal.

Na ausência de dados observacionais suficientes para a obtenção empírica do HU, recorre-se à aplicação de Hidrogramas Unitários Sintéticos (HUS), que estimam a resposta hidrológica com base em parâmetros morfométricos e hidrológicos da bacia.

Para este estudo, foi adotado o **Hidrograma Unitário Triangular Sintético do SCS**, uma simplificação geométrica amplamente utilizada e de grande aplicabilidade prática. Seus parâmetros principais são derivados diretamente do Tempo de Concentração (T_c) e da área da bacia (A_d), conforme detalhado abaixo:

10.2.1. Duração efetiva da chuva unitária (D)

Este parâmetro define o tempo de duração da chuva unitária efetiva que gera o hidrograma. A escolha de D está associada ao intervalo de tempo mínimo capaz de gerar resposta hidrológica mensurável na bacia, sendo também compatibilizada com a resolução do hietograma utilizado.

10.2.2. Tempo de Retardamento (Lag Time - t_L)

O tempo de retardamento, ou “lag time”, representa o intervalo entre o centro de massa da chuva efetiva e o pico do hidrograma de resposta. Esta variável incorpora o tempo necessário para o escoamento concentrado se organizar dentro da bacia. A proporção de 0,6 em relação ao tempo de concentração (T_c) é empírica, baseada em observações hidrológicas consolidadas e expressa pela fórmula:

$$t_L = 0.6 \times T_c$$

Onde:

t_L = Tempo de retardamento, em horas;

T_c = Vazão máxima, em m^3/s .

10.2.3. Tempo até o pico do hidrograma (t_p)

Esta equação determina o instante em que ocorre a vazão de pico do hidrograma unitário. É calculado somando-se metade da duração da chuva à defasagem do tempo de retardamento. Representa o tempo de resposta máximo da bacia a uma unidade de chuva, e é expressa por:

$$t_p = 0.5 \times D + t_L$$

Onde:

t_p = Tempo até o pico do hidrograma, em horas;

D = Duração efetiva da chuva, em horas;

t_L = Tempo de retardamento, em horas.

10.2.4. Tempo de base do hidrograma (t_b)

O tempo de base representa a duração total do escoamento gerado pela chuva unitária até que a vazão retorne a zero. O fator 2,67 está associado à geometria triangular do HUS adotado, considerando a simetria da ascensão e a declividade da recessão do escoamento, é expressa por:

$$t_b = 2.67 \times t_p$$

Onde:

t_b = Tempo de base do hidrograma, em horas;

t_p = Tempo até o pico do hidrograma, em horas.

10.2.5. Vazão de pico unitária (Q_{punit})

Esta expressão fornece a vazão de pico associada a uma chuva unitária de 1 cm, sendo dependente da área da bacia (A_d , em km^2), do tempo até o pico (t_p , em horas), e de um coeficiente de conversão empírico $C=2,08$. Essa equação quantifica o volume específico de escoamento gerado por unidade de chuva, fundamental para a posterior convolução com a chuva efetiva total do evento, e é expressa por:

$$Q_{punit} = \frac{2.08 \times A_d}{t_p}$$

Onde:

Q_{punit} = Vazão de pico unitária, em $\text{m}^3/\text{s.cm}$;

A_d = Área da bacia de contribuição, em km^2 ;

t_p = Tempo até o pico do hidrograma, em horas.

A forma triangular do hidrograma adotado considera uma ascensão linear da vazão entre os instantes 0 e t_p , seguida por uma recessão linear entre t_p e t_b , retornando a vazão nula ao final do evento hidrológico.

O resultado do Hidrograma Unitário Triangular referente ao presente estudo é apresentado a seguir.

| ORDINADAS DO HIDROGRAMA | |
|-------------------------|-------|
| Q (m³/s.cm) | t (h) |
| 0 | 0 |
| 118,99 | 2,45 |
| 0 | 6,54 |

Tabela 12: Ordinadas do hidrograma.

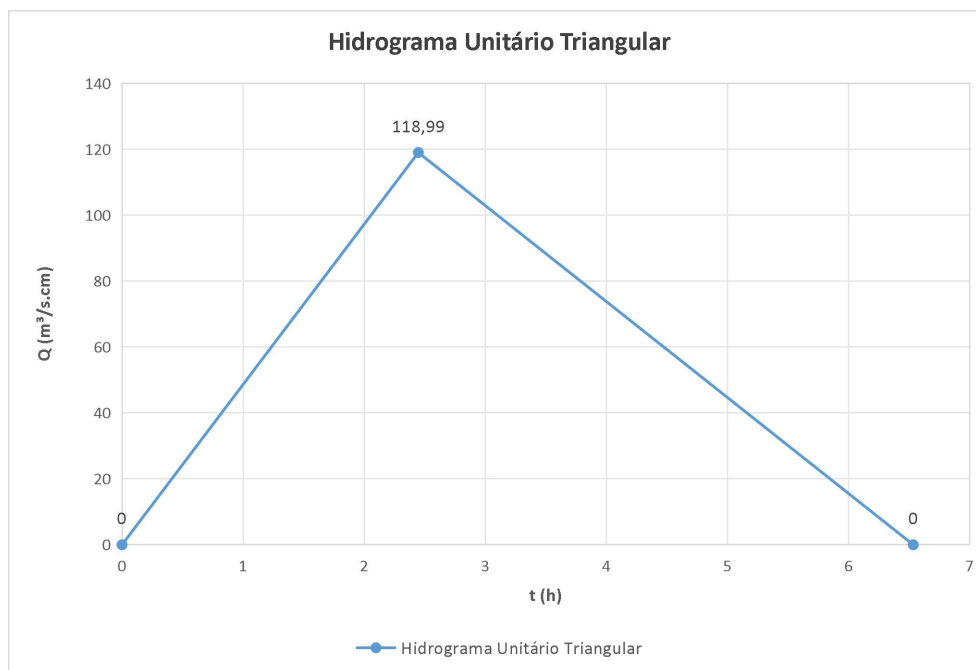


Gráfico 10: Hidrograma Unitário Triangular.

10.3. PRECIPITAÇÃO EFETIVA (MÉTODO SCS-CN) E HIETOGRAMA DE CHUVA EXCEDENTE

A precipitação efetiva (P_e), ou escoamento superficial direto, corresponde à fração da chuva total que efetivamente contribui para a geração de vazão na bacia. Trata-se do volume remanescente após as perdas iniciais, sendo convertido em escoamento superficial e, portanto, responsável pelo acionamento do hidrograma de cheia.

As perdas hidrológicas que diferenciam a precipitação total da efetiva englobam, principalmente, a interceptação pela vegetação, a armazenagem em depressões superficiais e, sobretudo, a infiltração no solo.

Para a estimativa da P_e , adotou-se o método do Curve Number (CN), desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS), atualmente denominado Natural Resources Conservation Service (NRCS) do USDA. Trata-se de uma das metodologias mais consolidadas e amplamente utilizadas em todo o mundo, graças à combinação de base teórica robusta com facilidade de aplicação.

O conceito central do método SCS-CN é o Curve Number (CN) que, como já abordado no presente estudo, é um índice adimensional, com valores teóricos entre 0 e 100, que expressa o potencial de escoamento de uma bacia hidrográfica.

A partir do CN, estima-se as seguintes variáveis:

10.3.1. Retenção Potencial Máxima da Bacia (S)

Volume máximo de água que o solo e as depressões superficiais podem armazenar após o início do escoamento.

$$S = 25.4 \times \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Onde:

S = Retenção potencial máxima da bacia, em milímetros;

CN = Curve Number (adimensional).

10.3.2. Perdas Iniciais (infiltração inicial - I_a)

Volume inicial da chuva que é perdido por interceptação vegetal, infiltração inicial rápida e armazenamento em microdepressões.

$$I_a = 0.2 \times S$$

Onde:

I_a = Perdas iniciais, em milímetros;

S = Retenção potencial máxima da bacia, em milímetros.

10.3.3. Precipitação Excedente Acumulada (quando $P_{acum} > I_a$)

Volume acumulado de escoamento superficial gerado a partir da chuva total acumulada até o instante t .

$$Pe_{acum} = \frac{(P_{acum} - I_a)^2}{P_{acum} - I_a + S}$$

Onde:

Pe_{acum} = Precipitação excedente acumulada, em milímetros;

P_{acum} = Precipitação total acumulada até o tempo t , em milímetros.

10.3.4. Precipitação Excedente (quando $P_{acum} \leq I_a$)

Não há escoamento gerado até que as perdas iniciais sejam superadas.

$$Pe_{acum} = 0$$

Onde:

Pe_{acum} = Precipitação excedente acumulada, em milímetros.

A aplicação das equações acima permite converter o hietograma de chuva total (Huff) em blocos incrementais de chuva efetiva, os quais compõem o hietograma de chuva efetiva. Este, por sua vez, é utilizado como entrada no processo de convolução com o hidrograma unitário, gerando o hidrograma de projeto. A seguir é apresentado os resultados da aplicação do método no presente estudo:

| DESENVOLVIMENTO DOS CÁLCULOS | | |
|------------------------------|---|---|
| Retenção Potencial Máxima: | $S = 25.4 \times \left(\frac{1000}{47} - 10 \right)$ | $S = 286,425 \text{ mm}$ |
| Infiltração Inicial: | $I_a = 0.2 \times 286,425$ | $I_a = 57,285 \text{ mm}$ |

Tabela 13: Desenvolvimento dos cálculos do Hietograma de Projeto - SCS.

| TABELA DE PRECIPITAÇÕES | | | | | | | | |
|-------------------------|-------|---------------|--------------------|----------------------|--------|--------|--------|------------|
| t (h) | P(mm) | P. Acum. (mm) | P. exc. Acum. (mm) | Hietograma exc. (mm) | Blocos | Tp'(h) | Tb'(h) | Qp' (m³/s) |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,20 | 25,24 | 25,24 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,39 | 26,82 | 52,06 | 0,00 | 0,00 | 0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,59 | 15,77 | 67,83 | 0,37 | 0,37 | 1 | 3,04 | 7,12 | 4,46 |
| 0,78 | 14,20 | 82,03 | 1,97 | 1,59 | 2 | 3,23 | 7,32 | 18,96 |
| 0,98 | 12,62 | 94,65 | 4,31 | 2,34 | 3 | 3,43 | 7,51 | 27,89 |
| 1,17 | 9,46 | 104,11 | 6,58 | 2,27 | 4 | 3,62 | 7,71 | 27,00 |
| 1,37 | 7,89 | 112,00 | 8,78 | 2,20 | 5 | 3,82 | 7,91 | 26,13 |
| 1,57 | 6,31 | 118,31 | 10,72 | 1,94 | 6 | 4,01 | 8,10 | 23,11 |
| 1,76 | 6,31 | 124,62 | 12,82 | 2,10 | 7 | 4,21 | 8,30 | 24,97 |
| 1,96 | 4,73 | 129,35 | 14,49 | 1,67 | 8 | 4,41 | 8,49 | 19,88 |
| 2,15 | 3,15 | 132,51 | 15,65 | 1,16 | 9 | 4,60 | 8,69 | 13,79 |
| 2,35 | 3,15 | 135,66 | 16,84 | 1,19 | 10 | 4,80 | 8,88 | 14,20 |
| 2,55 | 3,15 | 138,82 | 18,07 | 1,23 | 11 | 4,99 | 9,08 | 14,60 |
| 2,74 | 3,15 | 141,97 | 19,33 | 1,26 | 12 | 5,19 | 9,28 | 14,99 |
| 2,94 | 3,15 | 145,13 | 20,62 | 1,29 | 13 | 5,38 | 9,47 | 15,37 |
| 3,13 | 3,15 | 148,28 | 21,94 | 1,32 | 14 | 5,58 | 9,67 | 15,74 |
| 3,33 | 3,15 | 151,44 | 23,29 | 1,35 | 15 | 5,78 | 9,86 | 16,10 |
| 3,52 | 1,58 | 153,01 | 23,98 | 0,69 | 16 | 5,97 | 10,06 | 8,18 |
| 3,72 | 1,58 | 154,59 | 24,67 | 0,69 | 17 | 6,17 | 10,26 | 8,27 |
| 3,92 | 3,15 | 157,75 | 26,09 | 1,41 | 18 | 6,36 | 10,45 | 16,80 |

Tabela 14: Tabela de Precipitações do Hietograma Excedente.

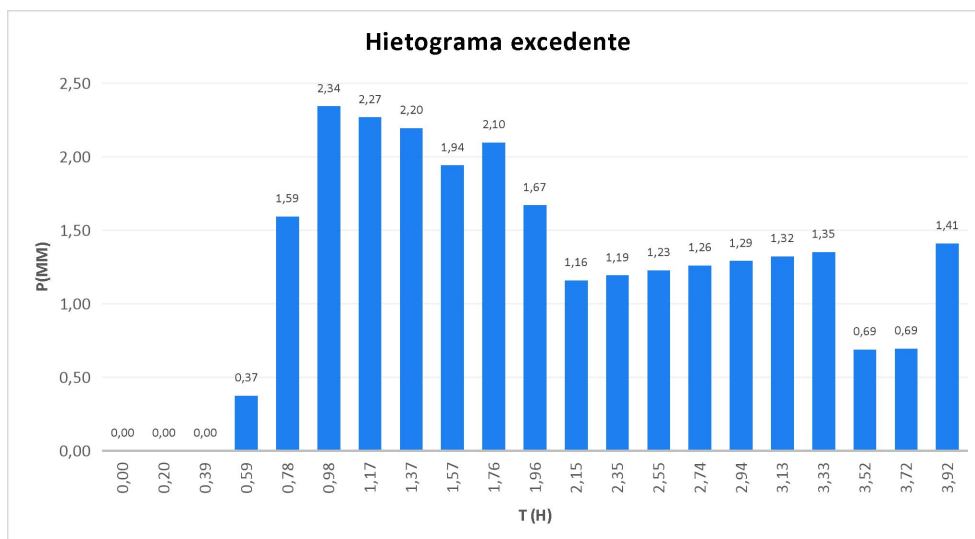


Gráfico 11: Hietograma Excedente.

10.4. HIDROGRAMA DE PROJETO (CONVOLUÇÃO) – VAZÃO DE PICO

O hidrograma de escoamento direto de projeto (Q) representa a resposta hidrológica da bacia a um evento de chuva complexo — ou seja, uma sequência de blocos de chuva efetiva incremental ao longo do tempo. Este hidrograma é obtido por meio da convolução discreta entre o hietograma de precipitação excedente (P) e as ordenadas do hidrograma unitário (U).

A operação de convolução discreta baseia-se no princípio da superposição, característico de sistemas lineares e invariantes no tempo, como assumido na teoria do hidrograma unitário. Assim, considera-se que a resposta total da bacia à chuva complexa é a soma das respostas individuais a cada bloco incremental de chuva efetiva, e é expressa pela seguinte formulação matemática:

$$Q_k = \sum_{j=1}^N P_j \times U_{k-j+1}$$

Para $k = 1$ até K

Onde:

Q_k = Vazão no tempo k , em m^3/s ;

P_j = j -ésimo bloco de chuva efetiva, em milímetros;

U_{k-j+1} = Ordenada do hidrograma unitário correspondente;

$K = N + M - 1$ = Número total de ordenadas resultantes da convolução;

N = Número de blocos de chuva efetiva;

M = Número de ordenadas do hidrograma unitário.

Fisicamente, cada bloco P_j de chuva efetiva gera uma resposta individual $P_j \times U$, isto é, um hidrograma deslocado no tempo, proporcional ao volume do bloco. O hidrograma de projeto final é a soma dessas respostas parciais deslocadas, que simulam o comportamento acumulado da bacia frente à ocorrência do evento de chuva de projeto. A seguir é apresentado os resultados deste processo, juntamente com o hidrograma de projeto.

10.4.1. Resultados do Hidrograma de Projeto:

- Vazão de Pico do Projeto: **238,66 m^3/s** .
- Tempo de Pico do Projeto: **4,70 horas** .

| PROCESSO DE CONVOLUÇÃO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Total |
|------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|
| Tempo (h) | Bloco1 (m³/s) | Bloco2 (m³/s) | Bloco3 (m³/s) | Bloco4 (m³/s) | Bloco5 (m³/s) | Bloco6 (m³/s) | Bloco7 (m³/s) | Bloco8 (m³/s) | Bloco9 (m³/s) | Bloco10 (m³/s) | Bloco11 (m³/s) | Bloco12 (m³/s) | Bloco13 (m³/s) | Bloco14 (m³/s) | Bloco15 (m³/s) | Bloco16 (m³/s) | Bloco17 (m³/s) | Bloco18 (m³/s) | (m³/s) |
| 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,39 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 0,59 | 0,36 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,36 |
| 0,78 | 0,71 | 1,52 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 2,23 |
| 0,98 | 1,07 | 3,03 | 2,23 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 6,33 |
| 1,17 | 1,43 | 4,55 | 4,46 | 2,16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 12,60 |
| 1,37 | 1,78 | 6,07 | 6,69 | 4,32 | 2,09 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 20,95 |
| 1,57 | 2,14 | 7,58 | 8,93 | 6,48 | 4,18 | 1,85 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 31,15 |
| 1,76 | 2,50 | 9,10 | 11,16 | 8,64 | 6,27 | 3,70 | 2,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 43,35 |
| 1,96 | 2,85 | 10,61 | 13,39 | 10,80 | 8,36 | 5,55 | 3,99 | 1,59 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 57,15 |
| 2,15 | 3,21 | 12,13 | 15,62 | 12,96 | 10,45 | 7,40 | 5,99 | 3,18 | 1,10 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 72,04 |
| 2,35 | 3,57 | 13,65 | 17,85 | 15,12 | 12,54 | 9,25 | 7,99 | 4,77 | 2,21 | 1,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 88,07 |
| 2,55 | 3,92 | 15,16 | 20,08 | 17,28 | 14,63 | 11,09 | 9,99 | 6,36 | 3,31 | 2,27 | 1,17 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 105,27 |
| 2,74 | 4,28 | 16,68 | 22,31 | 19,44 | 16,72 | 12,94 | 11,98 | 7,95 | 4,41 | 3,41 | 2,34 | 1,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 123,66 |
| 2,94 | 4,63 | 18,20 | 24,54 | 21,60 | 18,81 | 14,79 | 13,98 | 9,54 | 5,51 | 4,54 | 3,50 | 2,40 | 1,23 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 143,29 |
| 3,13 | 4,35 | 19,71 | 26,78 | 23,76 | 20,90 | 16,64 | 15,98 | 11,14 | 6,62 | 5,68 | 4,67 | 3,60 | 2,46 | 1,26 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 163,53 |
| 3,33 | 4,14 | 18,50 | 29,01 | 25,92 | 22,99 | 18,49 | 17,98 | 12,73 | 7,72 | 6,81 | 5,84 | 4,80 | 3,69 | 2,52 | 1,29 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 182,41 |
| 3,52 | 3,92 | 17,59 | 27,22 | 28,08 | 25,08 | 20,34 | 19,97 | 14,32 | 8,82 | 7,95 | 7,01 | 5,99 | 4,92 | 3,78 | 2,58 | 0,65 | 0,00 | 0,00 | 198,23 |
| 3,72 | 3,71 | 16,69 | 25,89 | 26,35 | 27,17 | 22,19 | 21,97 | 15,91 | 9,93 | 9,09 | 8,17 | 7,19 | 6,15 | 5,04 | 3,86 | 1,31 | 0,66 | 0,00 | 211,27 |
| 3,92 | 3,50 | 15,78 | 24,55 | 25,06 | 25,50 | 24,04 | 23,97 | 17,50 | 11,03 | 10,22 | 9,34 | 8,39 | 7,38 | 6,30 | 5,15 | 1,96 | 1,32 | 1,34 | 222,32 |
| 4,11 | 3,28 | 14,87 | 23,21 | 23,76 | 24,25 | 22,56 | 25,97 | 19,09 | 12,13 | 11,36 | 10,51 | 9,59 | 8,61 | 7,55 | 6,44 | 2,62 | 1,98 | 2,69 | 230,47 |
| 4,31 | 3,07 | 13,96 | 21,88 | 22,47 | 23,00 | 21,45 | 24,37 | 20,68 | 13,23 | 12,49 | 11,68 | 10,79 | 9,83 | 8,81 | 7,73 | 3,27 | 2,65 | 4,03 | 235,40 |
| 4,50 | 2,86 | 13,05 | 20,54 | 21,18 | 21,75 | 20,35 | 23,17 | 19,41 | 14,34 | 13,63 | 12,85 | 11,99 | 11,06 | 10,07 | 9,02 | 3,93 | 3,31 | 5,37 | 237,86 |
| 4,70 | 2,64 | 12,15 | 19,21 | 19,88 | 20,49 | 19,24 | 21,98 | 18,46 | 13,46 | 14,76 | 14,01 | 13,19 | 12,29 | 11,33 | 10,30 | 4,58 | 3,97 | 6,72 | 238,66 |
| 4,90 | 2,43 | 11,24 | 17,87 | 18,59 | 19,24 | 18,13 | 20,78 | 17,50 | 12,80 | 13,86 | 15,18 | 14,39 | 13,52 | 12,59 | 11,59 | 5,24 | 4,63 | 8,06 | 237,64 |
| 5,09 | 2,21 | 10,33 | 16,53 | 17,30 | 17,99 | 17,02 | 19,59 | 16,55 | 12,13 | 13,18 | 14,25 | 15,59 | 14,75 | 13,85 | 12,88 | 5,89 | 5,29 | 9,41 | 234,74 |
| 5,29 | 2,00 | 9,42 | 15,20 | 16,00 | 16,74 | 15,92 | 18,39 | 15,60 | 11,47 | 12,50 | 13,55 | 14,63 | 15,98 | 15,11 | 14,17 | 6,55 | 5,95 | 10,75 | 229,92 |
| 5,48 | 1,79 | 8,51 | 13,86 | 14,71 | 15,49 | 14,81 | 17,19 | 14,65 | 10,81 | 11,82 | 12,85 | 13,91 | 15,00 | 16,37 | 15,46 | 7,20 | 6,62 | 12,09 | 223,13 |
| 5,68 | 1,57 | 7,60 | 12,53 | 13,42 | 14,24 | 13,70 | 16,00 | 13,69 | 10,15 | 11,14 | 12,15 | 13,19 | 14,26 | 15,36 | 16,74 | 7,86 | 7,28 | 13,44 | 214,32 |
| 5,87 | 1,36 | 6,70 | 11,19 | 12,12 | 12,98 | 12,60 | 14,80 | 12,74 | 9,49 | 10,46 | 11,45 | 12,47 | 13,53 | 14,61 | 15,71 | 8,51 | 7,94 | 14,78 | 203,44 |
| 6,07 | 1,15 | 5,79 | 9,85 | 10,83 | 11,73 | 11,49 | 13,61 | 11,79 | 8,83 | 9,78 | 10,75 | 11,76 | 12,79 | 13,85 | 14,94 | 7,99 | 8,60 | 16,12 | 191,65 |
| 6,27 | 0,93 | 4,88 | 8,52 | 9,54 | 10,48 | 10,38 | 12,41 | 10,83 | 8,17 | 9,10 | 10,05 | 11,04 | 12,05 | 13,10 | 14,17 | 7,59 | 8,07 | 17,47 | 178,79 |
| 6,46 | 0,72 | 3,97 | 7,18 | 8,24 | 9,23 | 9,27 | 11,21 | 9,88 | 7,51 | 8,42 | 9,35 | 10,32 | 11,32 | 12,35 | 13,40 | 7,20 | 7,68 | 16,39 | 163,65 |
| 6,66 | 0,51 | 3,06 | 5,85 | 6,95 | 7,98 | 8,17 | 10,02 | 8,93 | 6,85 | 7,74 | 8,65 | 9,60 | 10,58 | 11,59 | 12,63 | 6,81 | 7,28 | 15,59 | 148,78 |
| 6,85 | 0,29 | 2,16 | 4,51 | 5,66 | 6,73 | 7,06 | 8,82 | 7,98 | 6,19 | 7,06 | 7,95 | 8,88 | 9,85 | 10,84 | 11,86 | 6,42 | 6,88 | 14,78 | 133,91 |
| 7,05 | 0,08 | 1,25 | 3,17 | 4,36 | 5,48 | 5,95 | 7,63 | 7,02 | 5,53 | 6,38 | 7,25 | 8,17 | 9,11 | 10,08 | 11,09 | 6,03 | 6,49 | 13,98 | 119,04 |
| 7,25 | 0,00 | 0,34 | 1,84 | 3,07 | 4,22 | 4,84 | 6,43 | 6,07 | 4,87 | 5,70 | 6,56 | 7,45 | 8,37 | 9,33 | 10,32 | 5,63 | 6,09 | 13,18 | 104,31 |
| 7,44 | 0,00 | 0,00 | 0,50 | 1,78 | 2,97 | 3,74 | 5,23 | 5,12 | 4,21 | 5,02 | 5,86 | 6,73 | 7,64 | 8,58 | 9,54 | 5,24 | 5,69 | 12,37 | 90,22 |
| 7,64 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,48 | 1,72 | 2,63 | 4,04 | 4,17 | 3,55 | 4,34 | 5,16 | 6,01 | 6,90 | 7,82 | 8,77 | 4,85 | 5,30 | 11,57 | 77,31 |
| 7,83 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,47 | 1,52 | 2,84 | 3,21 | 2,89 | 3,66 | 4,46 | 5,29 | 6,17 | 7,07 | 8,00 | 4,46 | 4,90 | 10,76 | 65,70 |
| 8,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,42 | 1,64 | 2,26 | 2,23 | 2,98 | 3,76 | 4,58 | 5,43 | 6,31 | 7,23 | 4,07 | 4,51 | 9,96 | 55,36 |
| 8,22 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,45 | 1,31 | 1,57 | 2,30 | 3,06 | 3,86 | 4,69 | 5,56 | 6,46 | 3,67 | 4,11 | 9,15 | 46,19 |
| 8,42 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,36 | 0,91 | 1,62 | 2,36 | 3,14 | 3,96 | 4,81 | 5,69 | 3,28 | 3,71 | 8,35 | 38,18 |
| 8,62 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,25 | 0,94 | 1,66 | 2,42 | 3,22 | 4,05 | 4,92 | 2,89 | 3,32 | 7,54 | 31,21 |
| 8,81 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,26 | 0,96 | 1,71 | 2,48 | 3,30 | 4,15 | 2,50 | 2,92 | 6,74 | 25,01 |
| 9,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,26 | 0,99 | 1,75 | 2,54 | 3,37 | 2,11 | 2,53 | 5,93 | 19,48 |
| 9,20 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,27 | 1,01 | 1,79 | 2,60 | 1,71 | 2,13 | 5,13 | 14,65 |
| 9,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,28 | 1,04 | 1,83 | 1,32 | 1,73 | 4,32 | 10,53 |
| 9,59 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,28 | 1,06 | 0,93 | 1,34 | 3,52 | 7,13 |
| 9,79 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,29 | 0,54 | 0,94 | 2,72 | 4,48 |
| 9,99 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,15 | 0,54 | 1,91 | 2,60 |
| 10,18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,15 | 1,11 | 1,25 |
| 10,38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,30 | 0,30 |
| 10,57 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |

Tabela 15: Tabela do Processo de Convolução para determinação da vazão de pico de projeto.

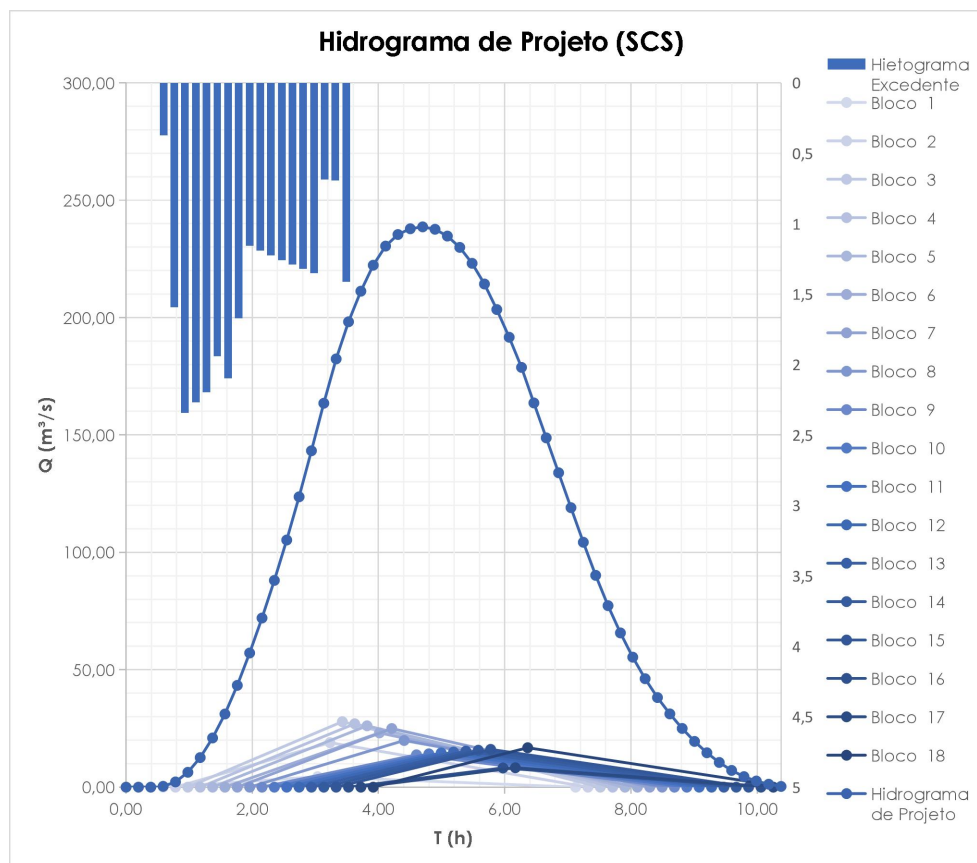


Gráfico 12: Hidrograma de projeto.

11. MODELAGEM HIDRÁULICA DA SEÇÃO DE ESTUDO

A análise hidráulica da obra-de-arte especial foi conduzida com base em critérios técnicos consagrados, visando avaliar a suficiência hidráulica das seções de escoamento frente à ocorrência de cheias extremas associadas ao tempo de retorno de 100 anos. Foram considerados os efeitos combinados do leito fluvial natural, da geometria da calha, das interferências antrópicas (ponte, pilares, enrocamentos) e das condições de rugosidade ao longo dos talvegues.

A seção de controle hidráulico foi definida com base em levantamento topobatimétrico fornecido e modelagem em regime permanente, aplicando-se o Princípio da Continuidade e a Fórmula de Manning para o cálculo da energia específica e da linha d'água. O coeficiente de rugosidade foi determinado com base na metodologia de parcelamento de contribuições proposta por Cowan (1956), considerando os efeitos do material do leito, vegetação marginal, variações geométricas e presença de obstruções.

11.1. DEFINIÇÃO DO COEFICIENTE DE RUGOSIDADE DE MANNING (n)

A determinação do coeficiente de rugosidade n foi realizada com base na metodologia de Cowan (1956), a qual permite decompor o valor de n em parcelas que representam as contribuições físicas e morfológicas da calha fluvial. A equação utilizada para o cálculo de n através do método é expressa por:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m_5$$

Onde:

n = Coeficiente de manning;

n_3 = Obstruções relativas;

n_0 = Material do leito;

n_4 = Vegetação marginal e submersa;

n_1 = Grau de irregularidade;

m_5 = Fator de correção por meandros.

n_2 = Variações da seção transversal;

| CONDIÇÕES DO CANAL | | | |
|---|-----------------------|-----|---------------|
| Material Envolvido n_0 | Terra | (1) | 0,020 |
| | Corte em Rocha | (2) | 0,025 |
| | Cascalho Fino | (3) | 0,024 |
| | Cascalho Grosso | (4) | 0,028 |
| Grau de Irregularidade n_1 | Suave | (1) | 0,000 |
| | Pequeno* | (2) | 0,005 |
| | Moderado** | (3) | 0,010 |
| | Grande | (4) | 0,020 |
| Variações da Seção Transversal n_2 | Gradual | (1) | 0,000 |
| | Alter. Ocasionalmente | (2) | 0,005 |
| | Alter. Frequentemente | (3) | 0,010 - 0,015 |
| Efeitos Relativos da Obstrução n_3 | Desprezível | (1) | 0,000 |
| | Pequeno | (2) | 0,010 - 0,015 |
| | Apreciável | (3) | 0,020 - 0,030 |
| | Grande | (4) | 0,040 - 0,060 |
| Vegetação n_4 | Baixa | (1) | 0,005 - 0,010 |
| | Média | (2) | 0,010 - 0,030 |
| | Alta | (3) | 0,025 - 0,050 |
| | Muito Alta | (4) | 0,050 - 0,100 |
| Grau de Meandrilidade m_5 | Pequena | (1) | 1,000 |
| | Apreciável | (2) | 1,150 |
| | Grande | (3) | 1,300 |
| Observações: * Canais bem dragados e levemente erodidos ** Canais mal dragados com lados erodidos | | | |

Quadro 11: Condições do canal para determinação do coeficiente de manning.

| ANÁLISE DA CALHA DO RIO - COEFICIENTE DE MANNING | | | |
|--|------------------------------------|--|--|
| Parâmetro | Descrição da Condição Observada | Valor Base (n ₀ a n ₄ , m ₅) | Justificativa Técnica |
| n ₀ – Material Envolvido | Corte em Rocha | 0,025 | Presença de lajes de rocha expostas no leito, que são o principal elemento de rugosidade do fundo. |
| n ₁ – Grau de Irregularidade | Pequeno | 0,005 | Margens com ondulações suaves e sinais de erosão discreta, resultando em baixa irregularidade. |
| n ₂ – Variações da Seção Transversal | Alterações ocasionais | 0,005 | Variações graduais de largura e profundidade ao longo do trecho, sem alterações abruptas. |
| n ₃ – Efeitos Relativos da Obstrução | Pequeno | 0,010 | Cenário futuro com a remoção da ponte e pilares, restando apenas pequenas obstruções naturais. |
| n ₄ – Vegetação | Média densidade | 0,015 | Presença de vegetação de média densidade em ambas as margens, com galhos sobre o canal. |
| m ₅ – Grau de Meandrilidade | Apreciável (curvatura perceptível) | 1,150 | Sinuosidade moderada do canal, com curva perceptível no trecho analisado. |

Tabela 16: Tabela do Processo de Convolução para determinação da vazão de pico de projeto.

Com base nas características observadas in loco e na análise da calha fluvial, obteve-se: **$n = 0,069$** .

11.2. ESTUDO DE SUFICIÊNCIA HIDRÁULICA

Esta etapa do estudo teve por finalidade a definição da seção de escoamento livre sob a ponte a ser implantada sobre o Córrego Araréau, no município de Rondonópolis-MT. A seção foi dimensionada de modo a garantir que a estrutura proporcione escoamento seguro da vazão de cheia associada ao tempo de retorno de 100 anos, sem extravasamento lateral nem comprometimento da estabilidade hidráulica da ponte.

Com base na geometria da calha fluvial, nos dados topobatimétricos disponíveis e no coeficiente de rugosidade de Manning obtido, foram determinados os parâmetros hidráulicos para diferentes alturas de lâmina d'água, considerando regime permanente e canal não revestido. As equações utilizadas foram:

- Raio Hidráulico: $R_h = \frac{A_m}{P_m}$
- Velocidade média: $V = \frac{R_h^{2/3} \times i^{1/2}}{n}$
- Vazão total: $Q_t = A_m \times V$

Onde:

A_m = Área molhada, em m²;

P_m = Perímetro molhado, em m;

i = Declividade do curso d'água nas imediações da seção hidráulica, em m/m;

n = Coeficiente de Manning.

11.2.1. Dimensionamento da Seção de Escoamento Livre

O dimensionamento da seção livre foi feito com base na comparação entre a capacidade hidráulica da seção e a vazão de projeto. Foram utilizados os seguintes coeficientes:

- Coeficiente Geométrico: $C_g = A_m \times R_h^{2/3}$
- Coeficiente Hidráulico (condição de suficiência):

$$C_h = \frac{Q_{m\acute{a}x} \times n}{i^{1/2}}$$

A suficiência hidráulica é garantida quando:

$$C_g \geq C_h$$

A seguir, apresenta-se a tabela-resumo dos parâmetros hidráulicos calculados, com destaque para a cota da lâmina de cheia, a velocidade média do escoamento, o coeficiente hidráulico e a vazão total suportada pela seção.

| ESTUDO DE SUFICIÊNCIA DE VAZÃO | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|------------------|--------------|--------------------------------|------------------------|--|
| Curso D'água: | | Córrego Lageadinho | | | i (m/m): | | 0,017 | | Cota Fundo: 215,722 | |
| Coordenadas da OAE: | | 16°25'41,05"S 54°37'00,02"O | | | n: | | 0,069 | | | |
| Cota | Altura (m) | Área Molhada (m²) | Perímetro Molhado (m) | Raio Hidráulico (m) | Coeficiente Geométrico | Velocidade (m/s) | Vazão (m³/s) | Vazão de Pico calculada (m³/s) | Coeficiente Hidráulico | |
| 216,722 | 1,00 | 13,97 | 23,27 | 0,60 | 9,95 | 1,36 | 18,98 | 238,66 | 125,05 | |
| 217,722 | 2,00 | 36,98 | 25,27 | 1,46 | 47,67 | 2,46 | 90,98 | | | |
| 218,722 | 3,00 | 61,01 | 28,11 | 2,17 | 102,28 | 3,20 | 195,22 | | | |
| 219,222 | 3,50 | 73,78 | 29,52 | 2,50 | 135,86 | 3,51 | 259,31 | | | |

Tabela 17 - Estudo de suficiência de vazão.

Observa-se que a cota de cheia definida, a seção de escoamento livre calculada apresenta:

- Cota de cheia: **219,222**;
- Altura da lâmina d'água: **3,50 m**;
- Capacidade hidráulica da seção: **259,31 m³/s**;
- Coeficiente Geométrico - C_g : **135,86**;
- Coeficiente Hidráulico - C_h : **125,05**.

Como $C_g \geq C_h$, a seção atende à condição de suficiência estabelecida pelo DNIT, assegurando o escoamento pleno sem extravasamento para a cheia de projeto.

11.3. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DA SEÇÃO

A representação gráfica da seção transversal da calha do Córrego Lageadinho, no trecho de implantação da ponte, foi elaborada com base nos dados topográficos e batimétricos fornecidos para o presente estudo. Essa seção ilustra a geometria real do canal, com a posição da lâmina d'água correspondente à cota de cheia definida no estudo de suficiência de vazão, a cota de fundo do talvegue e a cota da face inferior da viga da ponte (cota mínima da OAE).

O gráfico permite visualizar a compatibilidade entre a seção de escoamento livre e a capacidade hidráulica necessária, evidenciando a existência de folga vertical mínima de 1,00 metro entre a linha d'água e a estrutura da ponte, conforme exigido pelas normas do DNIT.

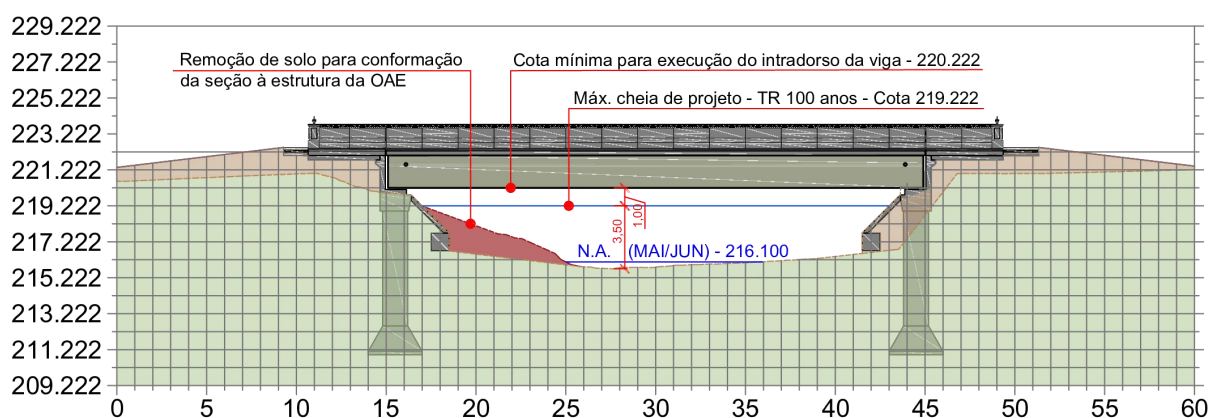


Figura 10 - Representação gráfica da seção da implantação da OAE.

12. CONCLUSÃO - OAE SOBRE O CÓRREGO LAGEADINHO

Conclui-se, com base no estudo hidráulico realizado, que para um evento de cheia com tempo de recorrência de 100 anos, a lâmina d'água atinge a cota 219,222 m, com profundidade de 3,50 metros em relação ao fundo da calha, cuja cota é 215,722 m.

Dessa forma, a ponte projetada, com extensão total de 30,00 metros, **deverá ter a parte inferior da sua superestrutura (intradorso da viga) posicionada a uma cota mínima de 220,222 m**, assegurando uma folga hidráulica vertical de 1,00 metro, conforme as diretrizes do Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem do DNIT (IPR-715) para obras em cursos d'água sem controle a montante.

A análise da seção hidráulica demonstra que a capacidade de vazão da calha natural é de **259,31 m³/s**, superior à vazão de pico estimada de **238,66 m³/s**, o que confirma a suficiência da seção de escoamento livre definida neste projeto.

13. RELATÓRIO FOTOGRÁFICO

A seguir, é apresentado o registro fotográfico da área de substituição da ponte de madeira pela implantação da obra de arte especial. As imagens ilustram as condições atuais e as características do leito e das margens do curso d'água, servindo como documentação visual de referência para o projeto.

Imagem 1 - Local de substituição da ponte de madeira por OAE - vista as margens da Rua Ponce de Arruda.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Imagem 2 - Local de substituição da ponte de madeira por OAE - vista as margens da Rua Ponce de Arruda.



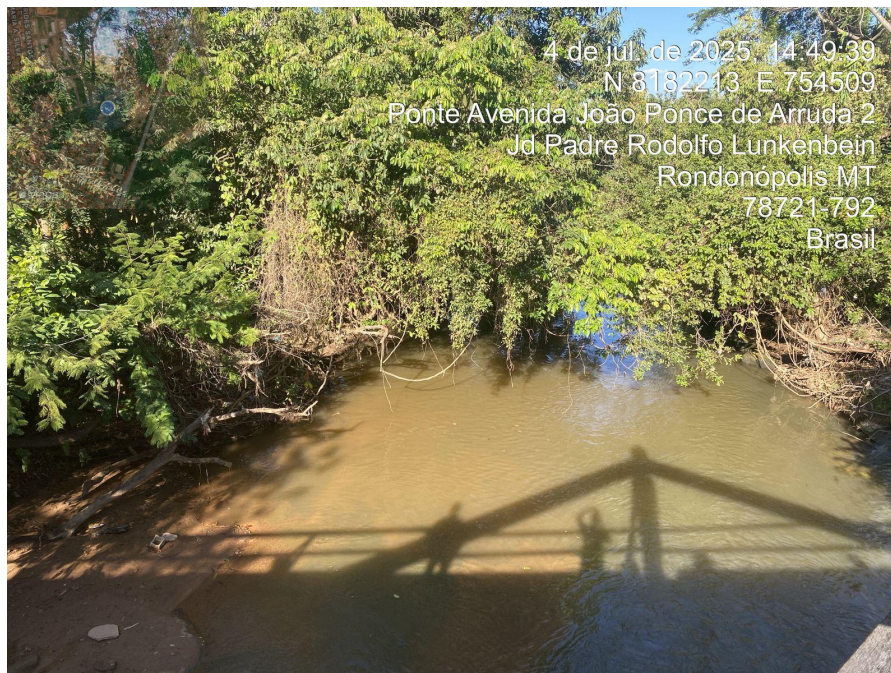
Fonte: Acervo pessoal do autor.

Imagem 3 - Local de substituição da ponte de madeira por OAE - vista da montante do curso.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Imagem 4 - Local de substituição da ponte de madeira por OAE - vista da jusante do curso.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Imagem 5 - Local de substituição da ponte de madeira por OAE - vista da estrutura da ponte existente na seção do curso d'água.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Imagem 6 - Local de substituição da ponte de madeira por OAE - vista da estrutura da ponte existente na seção do curso d'água.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

14. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas**. Brasília, DF: ANA, [2025]. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso em: 22 maio 2025.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: ABRH, 2013.

COWAN, W. L. Estimating hydraulic roughness coefficients. **Agricultural Engineering**, v. 37, n. 7, p. 473-475, 1956.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (Brasil). **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**. Rio de Janeiro: IPR, 2005. (Publicação IPR-715).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (Brasil). **Manual de Drenagem de Rodovias**. 2. ed. Rio de Janeiro: IPR, 2006. (Publicação IPR-724).

HUFF, F. A. Time distribution of rainfall in heavy storms. **Water Resources Research**, v. 3, n. 4, p. 1007-1019, 1967.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de Solos do Brasil**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Escala 1:5.000.000.

JABOR, M. A. **Drenagem: manual de projeto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020.

KIRPICH, P. Z. Time of concentration of small agricultural watersheds. **Civil Engineering, New York**, v. 10, n. 6, p. 362, 1940.

PAIVA, J. B. de; PAIVA, E. M. C. D. de. **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003.

SARTORI, A. Classificação hidrológica dos solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 10., 2004, Cuiabá. Anais [...]**. Porto Alegre: ABRH, 2004.

SHERMAN, L. K. Streamflow from rainfall by the unit-graph method. **Engineering News-Record**, v. 108, p. 501-505, 1932.

TORRICO, J. T. Isozonas de iguais relações entre precipitações máximas de diferentes durações. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 2., 1979, Foz do Iguaçu. Anais [...]**. Foz do Iguaçu, 1979.

TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2009.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 1995.

15. TERMO DE ENCERRAMENTO

O presente Estudo Hidrológico e Memorial Descritivo e de Cálculo foi elaborado com base em metodologias consagradas na engenharia, dados públicos de fontes oficiais (ANA, IBGE), levantamentos topográficos de campo e a aplicação criteriosa de ferramentas de geoprocessamento. Os resultados aqui apresentados, notadamente a vazão de pico de projeto e o dimensionamento hidráulico da obra de arte corrente, refletem a melhor estimativa técnica com base nas informações disponíveis.

O levantamento topográfico fornecido pela Superintendência de Topografia da Secretaria Municipal de Infraestrutura (SINFRA) do Município de Rondonópolis foi a base fundamental para a modelagem hidráulica e para a adequação da solução projetada às condições reais do terreno.

O responsável técnico pela execução do projeto e da obra subsequente deverá atender integralmente aos requisitos, parâmetros e conclusões deste memorial, bem como às plantas de projeto associadas e às normas técnicas vigentes. É imprescindível que toda a concepção e execução estejam amparadas pelas devidas Anotações de Responsabilidade Técnica (ARTs).

Reconhece-se que eventuais ajustes pontuais podem ser necessários durante a fase de locação e execução da obra, em virtude de condições de campo não previstas. Tais ajustes, caso ocorram, deverão ser realizados em conformidade com as melhores práticas de engenharia, sob a supervisão do profissional responsável, visando sempre garantir a qualidade, a segurança e a funcionalidade da estrutura.

Com a apresentação deste documento, encerram-se os estudos hidrológicos e hidráulicos para o objeto em questão, atestando-se a suficiência dos métodos e a coerência dos resultados para os fins a que se destinam.

Marcus Vinicius de Moraes Arruda

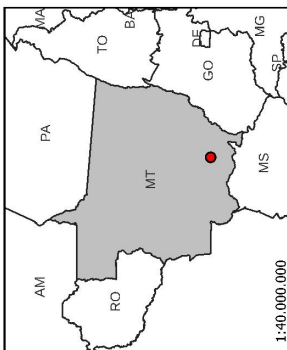
Engenheiro Civil

CREA MT 046649

ANEXO

Caracterização de Área

Obra de Arte Especial
Ponte Rua Ponce de Arruda



1:40.000.000

Legenda

- Bacia de Contribuição - 140,02 km²
- Talvegue - Cór. Lageadinho - 19,73 km
- Ponto de Interesse

Unidades Federativas

- Mato Grosso
- Outros Estados

Referência Espacial

DATUM Sirgas 2000
Projeção Transversa de Mercator
Zona 21 Sul

Base Cartográfica

Malha Estadual - IBGE, 2021
Modelo Digital de Elevação - Copernicus Global
DSM 30m
Mapa de Fundo - Cartas Topográficas Matriciais
do Sistema Cartográfico Nacional

