

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 UMA OBRA DE ARTE ESPECIAL (OAE) SOBRE O CÓRREGO PISCINA, LOCALIZADO NA RUA PERNAMBUCO, BAIRRO CIDADE SALMEN.

COORDENADAS: S 016°28'17.25" W 054°39'28.37"

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 implantação de Obra de Arte Especial - OAE na extensão da Rua Pernambuco sobre o Córrego Piscina, no bairro Cidade Salmen 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

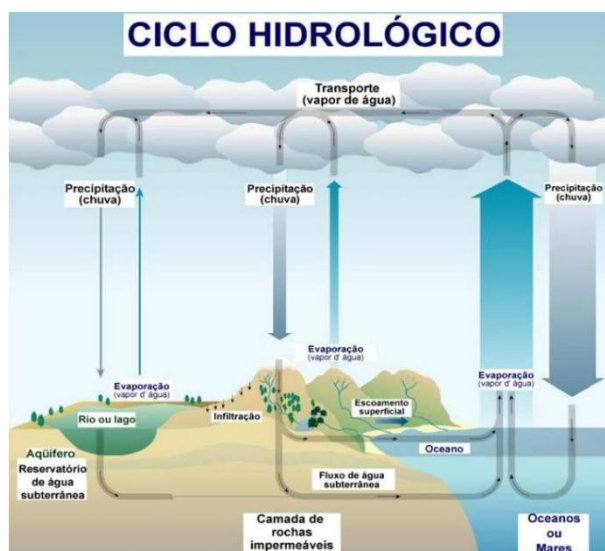
O processo de coleta de dados foi estruturado para obter as informações essenciais à caracterização do regime de chuvas e das condições climáticas da área do projeto, além de permitir o levantamento dos parâmetros topográficos e geomorfológicos das bacias de drenagem envolvidas.

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.

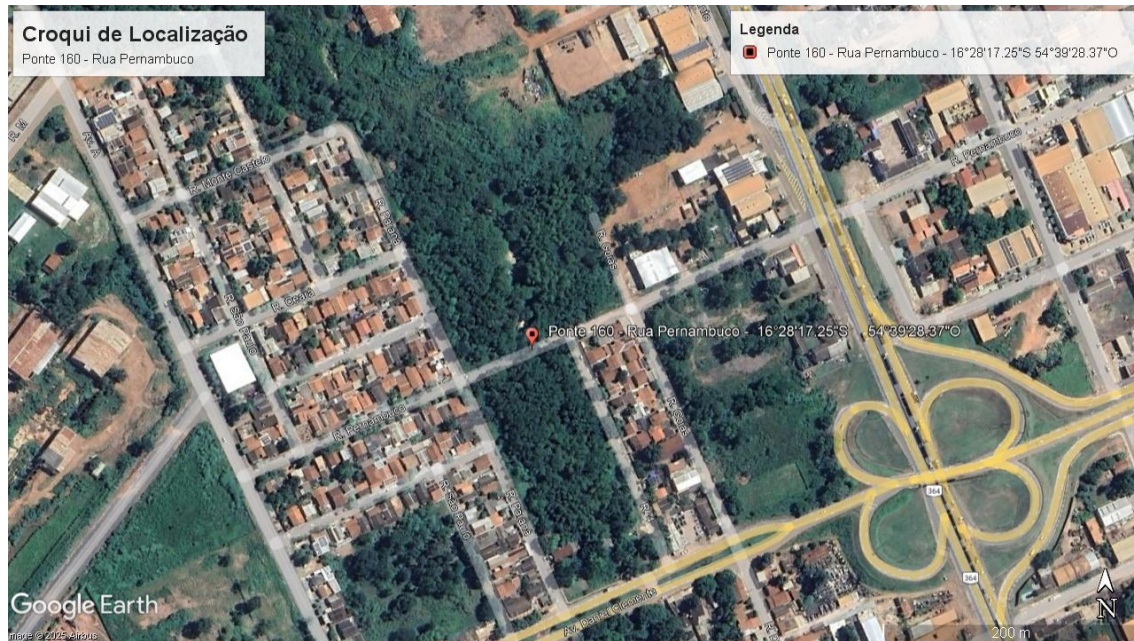
O quadro 01 e as figuras 01 e 02, apresentam os dados coletados em campo e o croqui de localização. Além disso, no anexo do presente estudo, encontram-se a delimitação da bacia de contribuição do mesmo e suas respectivas informações.

Quadro 1 – Dados do local de estudo.

DADOS DO LOCAL DE ESTUDO					
PONTO	ESTRADA	CURSO D'ÁGUA	COORDENADAS - LAT. LONG.		SERVIÇO
			INÍCIO	FIM	
Ponte 160 - Rua Pernambuco	Rua Pernambuco	Córrego Piscina	S 016°28'17.17" W 054°39'28.19"	S 016°28'17.33" W 054°39'28.56"	Execução de Obra de Arte Especial - OAE

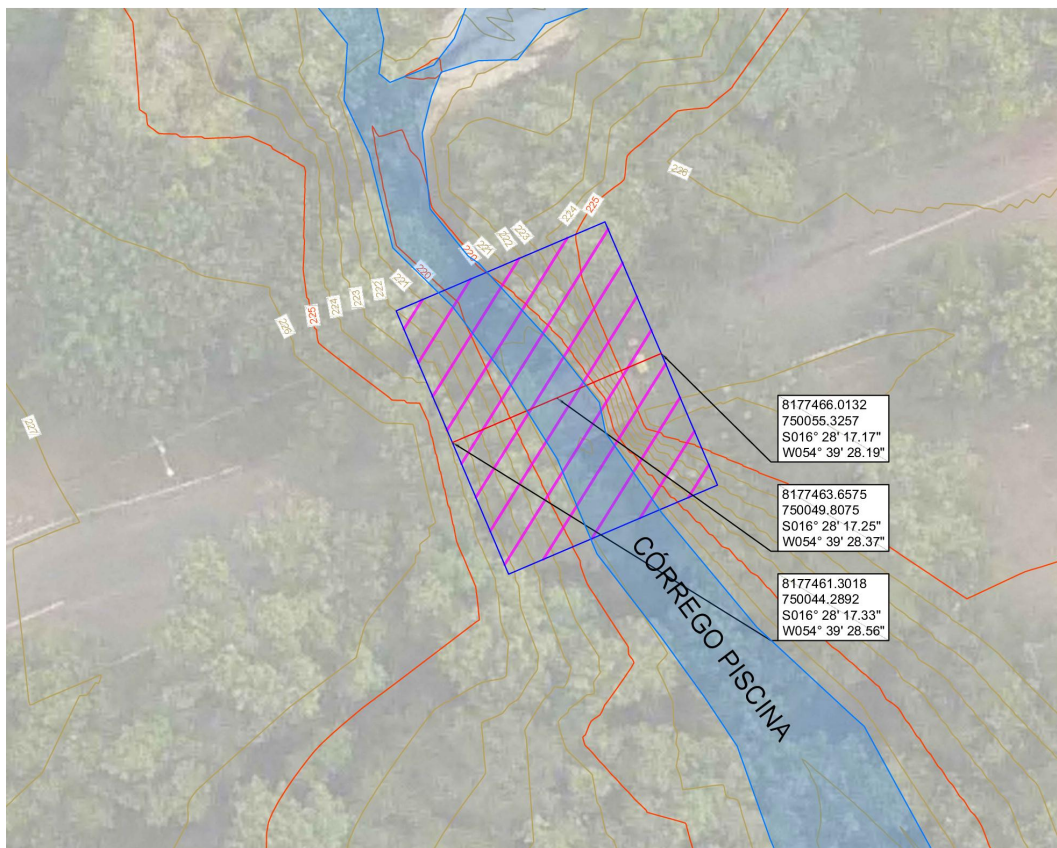
Fonte: Autor.

Figura 2: Croqui de localização - OAE a ser executada.



Fonte: Google Earth Pro 2024

Figura 3: Implantação - OAE a ser executada.



Fonte: Topografia, adaptado pelo autor.

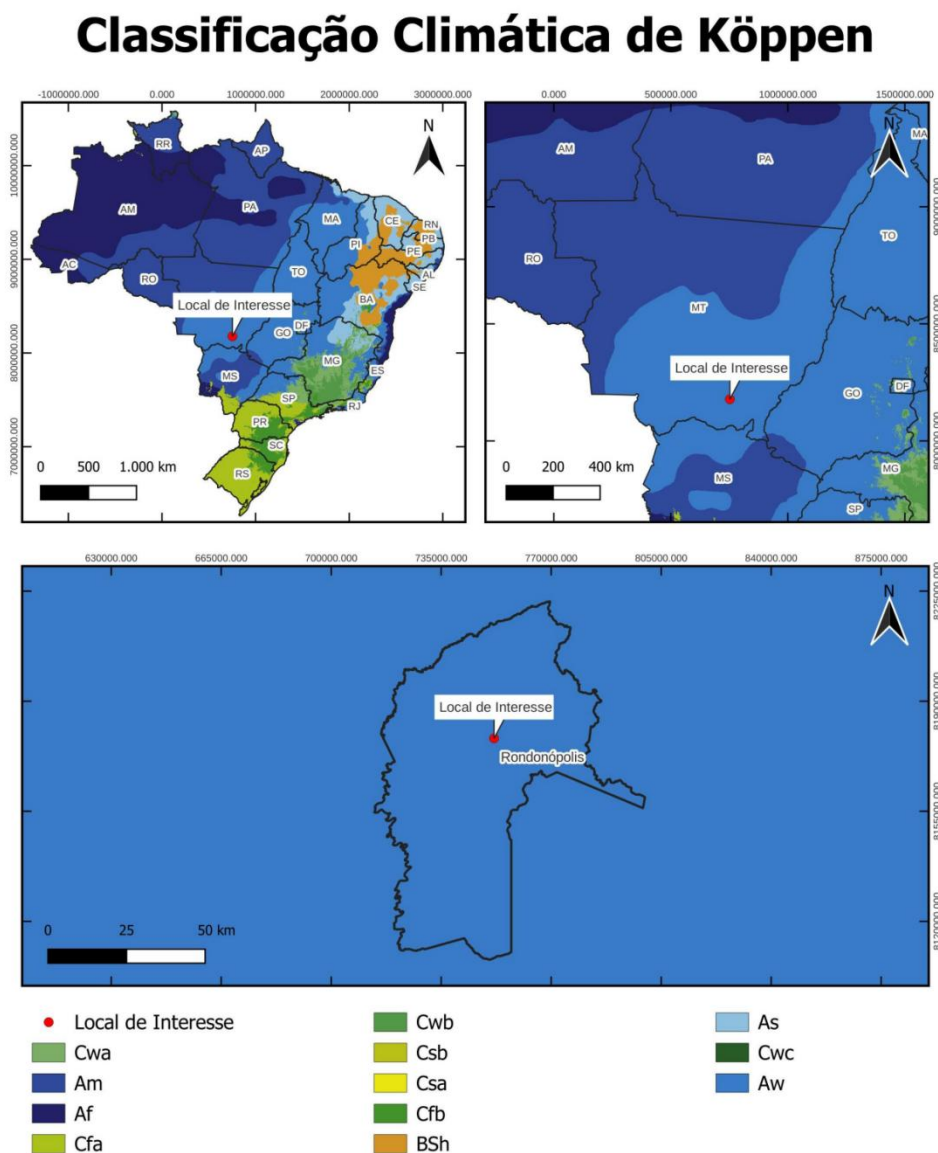
6. CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA

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.

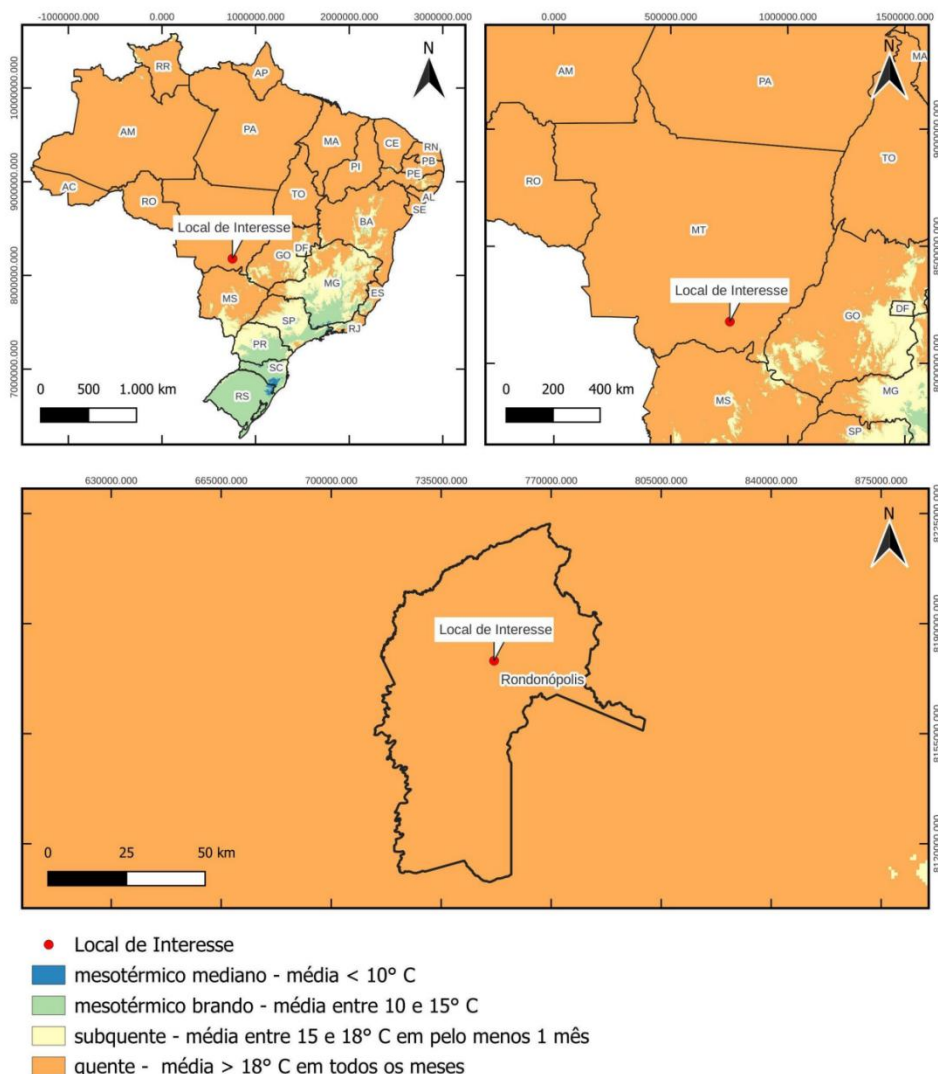
Figura 4: Classificação climática de Köppen-Geiger.



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

Figura 5: 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.

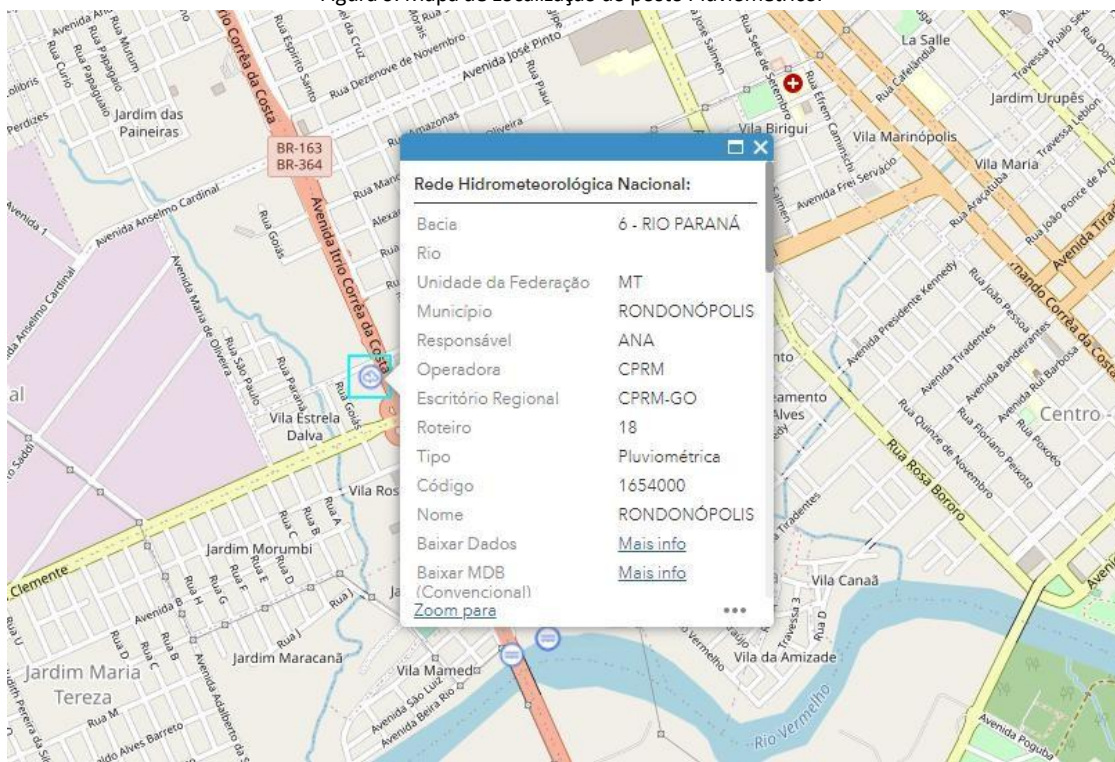
7.2. ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS DA ESTAÇÃO

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 6: 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.

Média - Números de Dias de Chuva (1965 a 2023)

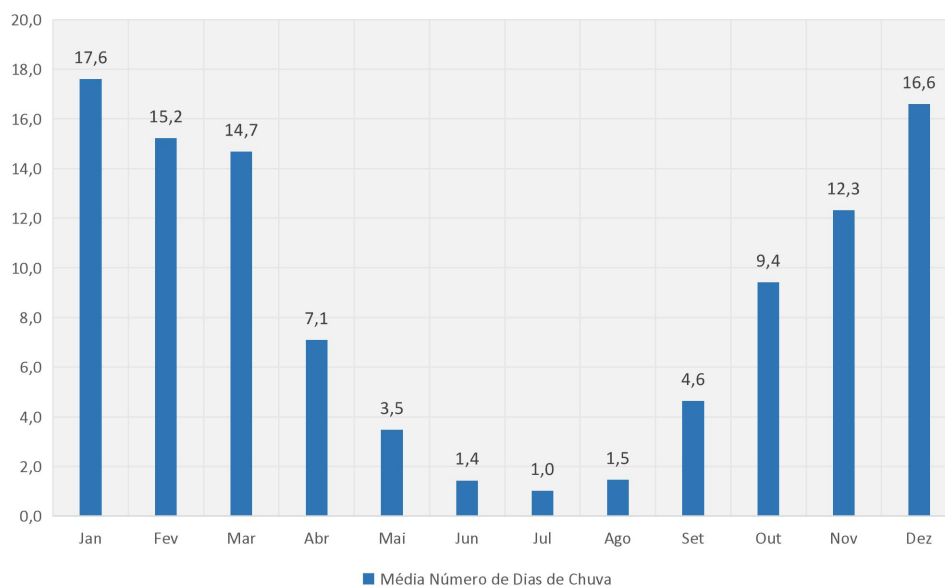


Gráfico 1: Média de números de dias de chuva mensal.

Valores Máximos - Números de Dias de Chuva (1965 a 2023)

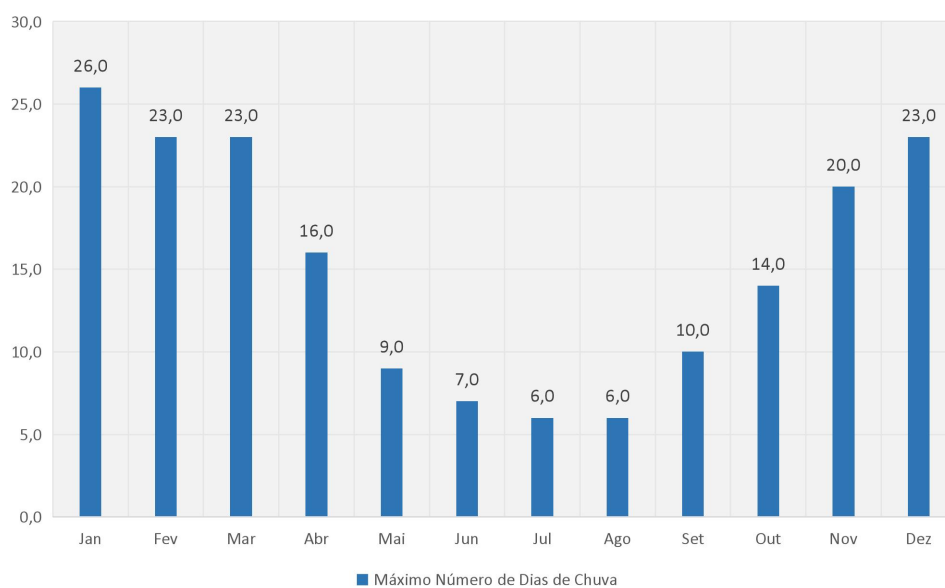


Gráfico 2: Máximo de números de dias de chuva mensal.

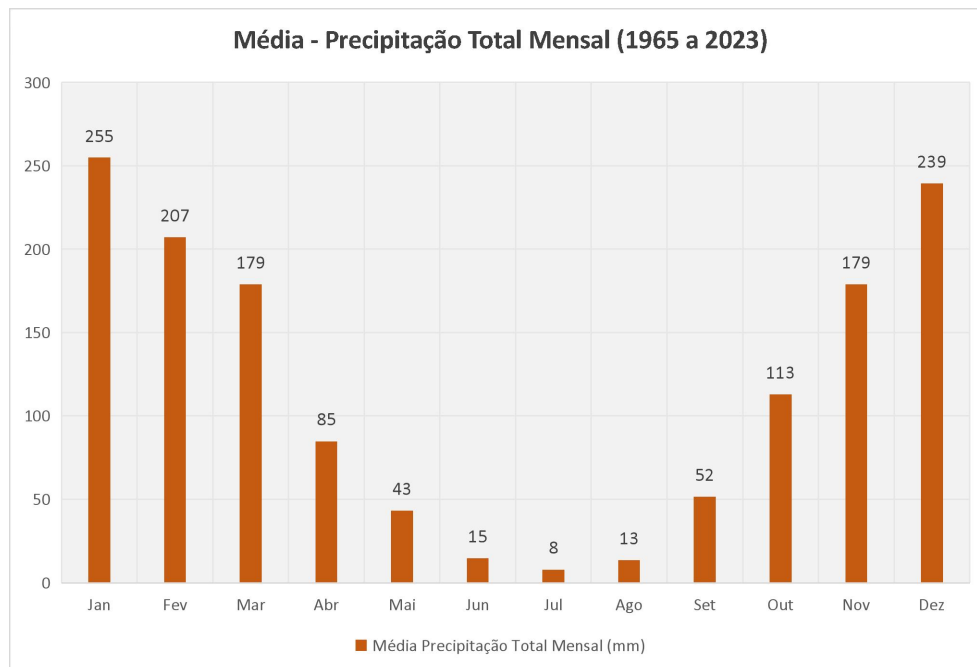


Gráfico 3: Média de precipitação total mensal.

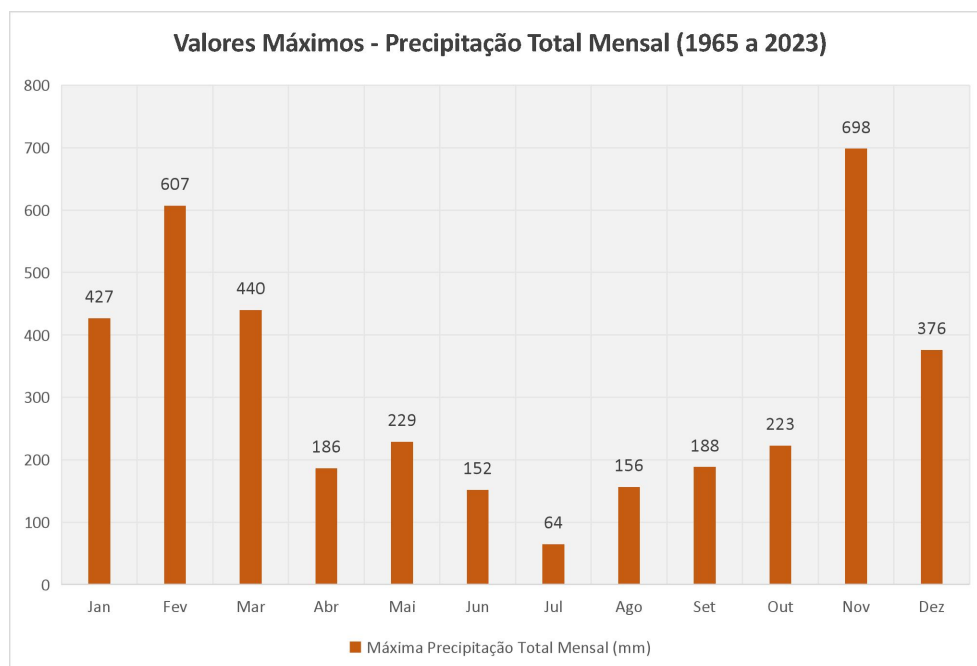


Gráfico 4: Máxima precipitação total mensal.

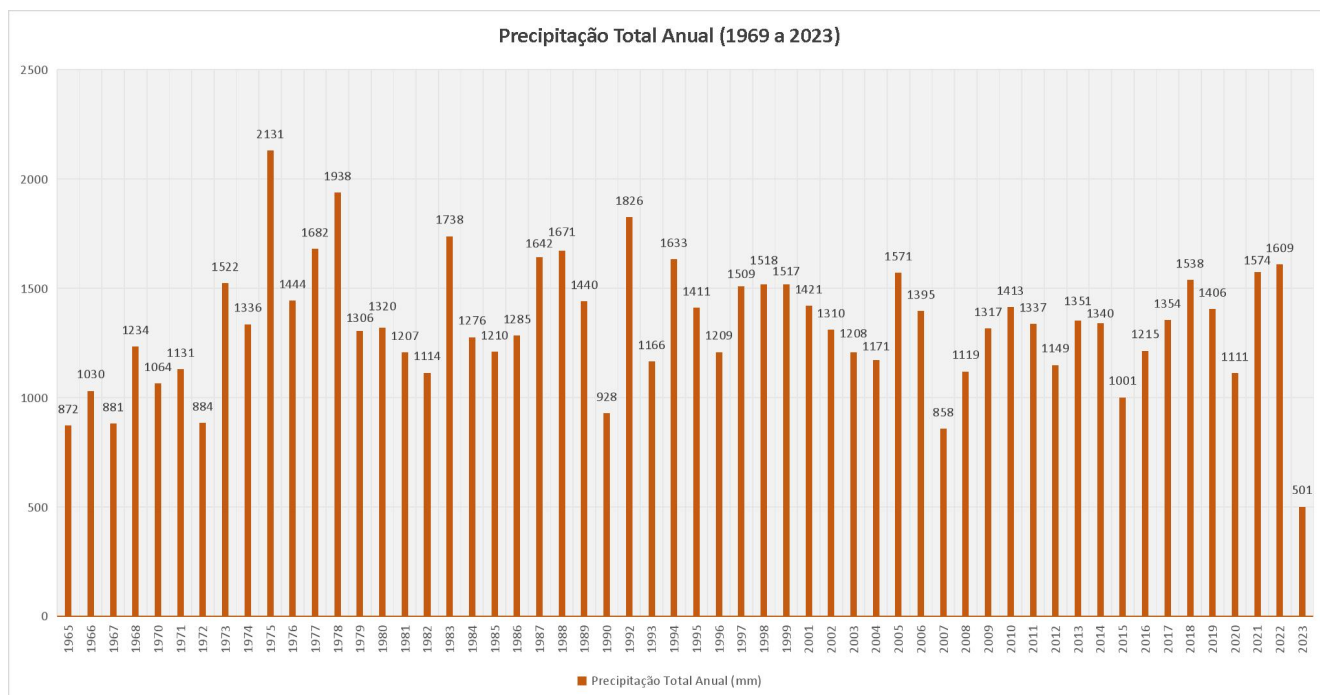


Gráfico 5: Precipitação total anual.

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
$\Sigma P =$	4780,50	$P_n =$	85,37
$\Sigma (P-P_n)^2 =$	70428,49	$\sigma_n =$	35,78
$\Sigma Y =$	32,77	$Y_n =$	0,59
$\Sigma (Y - Y_n)^2 =$	81,85	$\sigma'_n =$	1,22

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

FORMULA DE VEN TE CHOW				
$P_t = Q_n + \sigma_n \times K_t$				
P. em Anos	P_n	σ_n	K_t	P_t
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 - K_t				
$K_t = (Y - Y_n) / \sigma'_n$				
ANOS	Y	Y_n	σ'_n	K_t
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

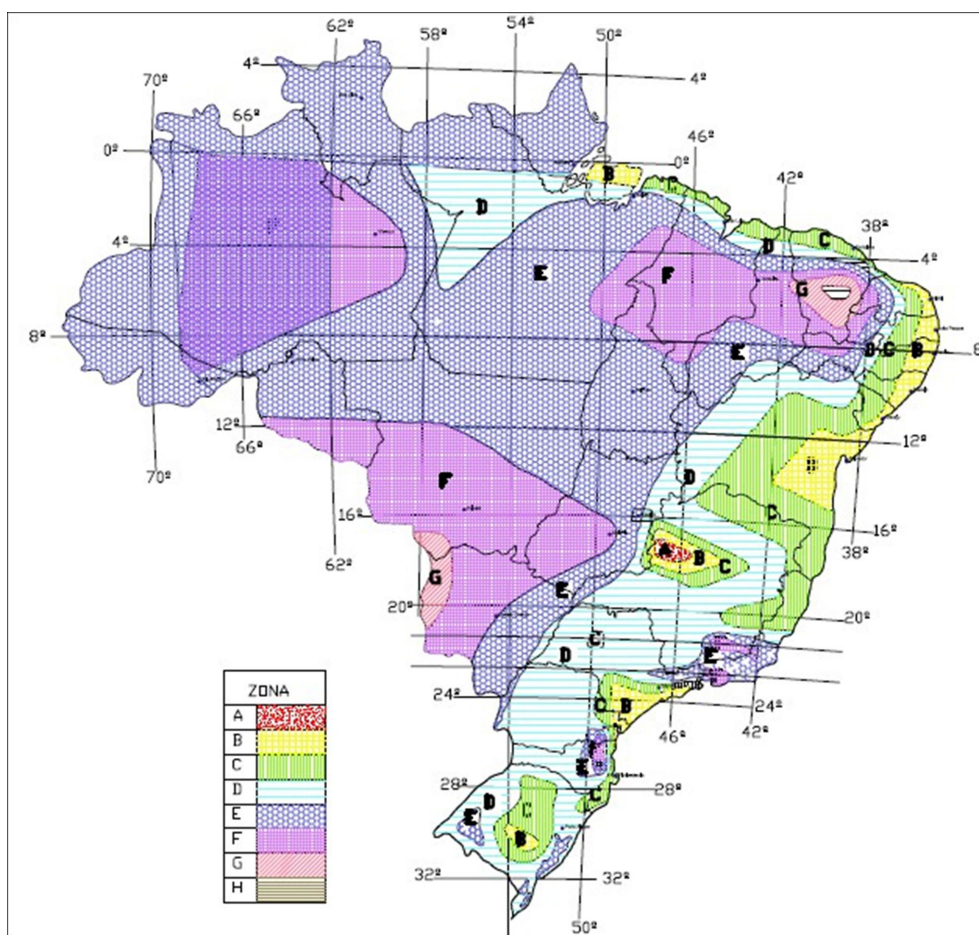


Figura 7: Mapa das Isozonas.

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

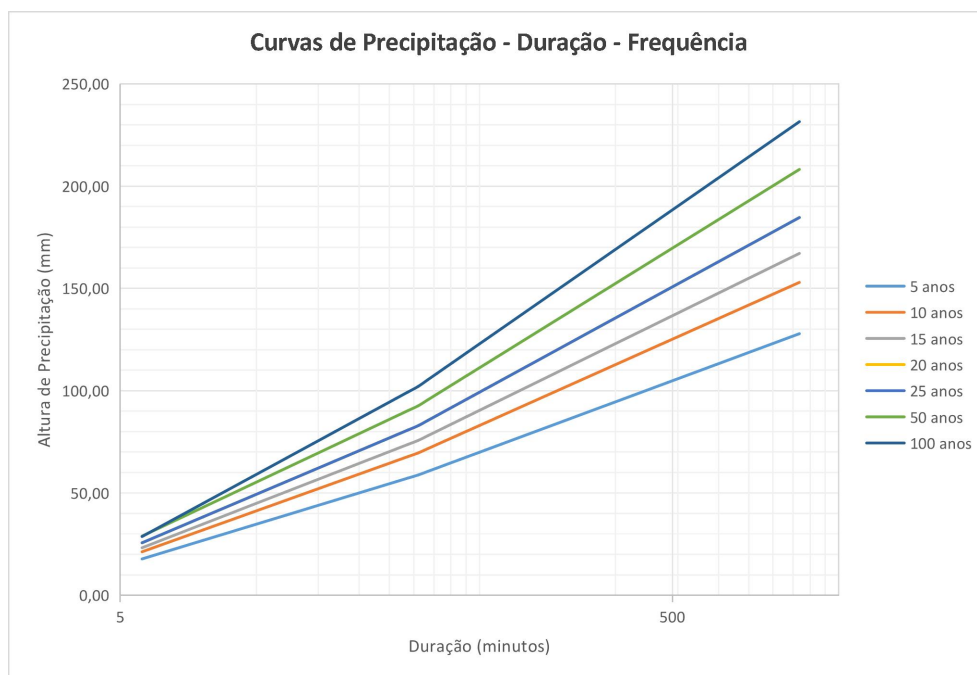


Gráfico 6: Curvas de Precipitação - Duração - Frequência.

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

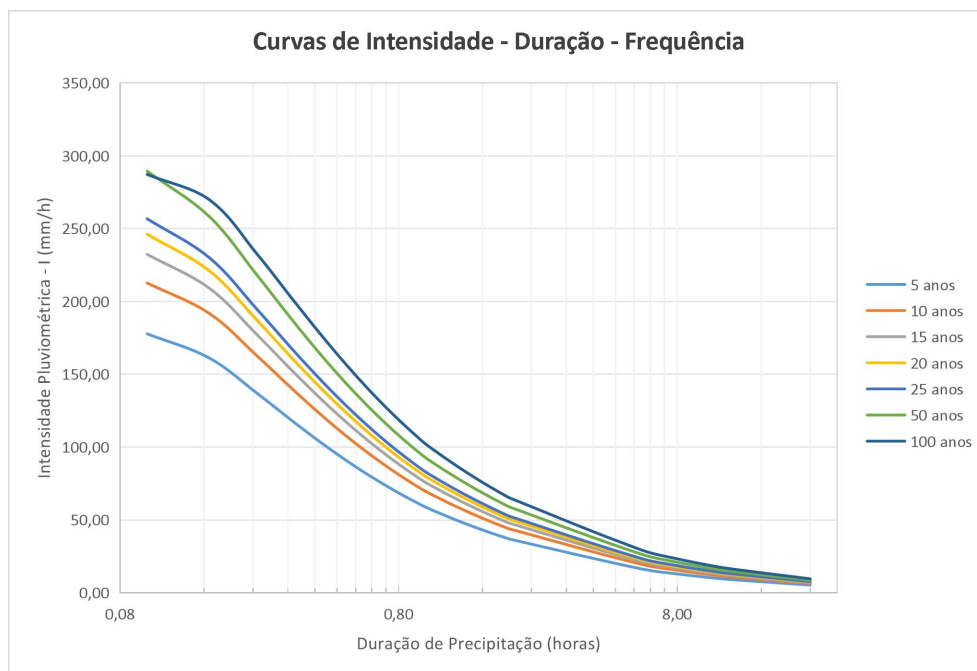


Gráfico 7: Curvas de Intensidade - Duração - Frequência (IDF).

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).

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” ou “coeficiente de deflúvio” 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 Deflúvio “C” – Método Racional.

DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DAS BACIAS TRIBUTÁRIAS	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO “C”
Comércio:	
Áreas centrais	0,70 a 0,95
Áreas da periferia do centro	0,50 a 0,70
Residencial:	
Áreas de uma única família	0,30 a 0,50
Multi-unidades, isoladas	0,40 a 0,60
Multi-unidades, ligadas	0,60 a 0,75
Residencial (suburbana)	0,25 a 0,40
Área de apartamentos	0,50 a 0,70
Industrial:	
Áreas leves	0,50 a 0,80
Áreas densas	0,60 a 0,90
Parques, cemitérios	0,10 a 0,25
Playgrounds	0,20 a 0,35
Pátio e espaço de serviços de estrada de ferro	0,20 a 0,40
Terrenos baldios	0,10 a 0,30

Fonte: DNIT.

Quadro 6.1 - Valores do Coeficiente de Deflúvio “C” – Método Racional.

TIPO DE SUPERFÍCIE	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO “C”
Ruas:	
Asfalto	0,70 a 0,95
Concreto	0,80 a 0,95
Tijolos	0,70 a 0,85
Trajeto de acesso a calçadas	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
Gramados; solos arenosos:	
Plano, 2%	0,05 a 0,10
Médio, 2 a 7%	0,10 a 0,15
Íngreme, 7%	0,15 a 0,20
Gramados; solo compacto:	
Plano, 2%	0,13 a 0,17
Médio, 2 a 7%	0,18 a 0,22
Íngreme, 7%	0,15 a 0,35

Fonte: DNIT.

Quadro 7 - Valores do Coeficiente de Deflúvio “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 retílineos	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

Figura 8: Valores de "C" da bacia de contribuição.

Valores de "C"



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 Tempo de Concentração (T_c), o Coeficiente de Escoamento (C) e as Curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) 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).

Para bacias de contribuição com as características da área em estudo, foi empregado o Método Racional, uma das metodologias mais consagradas e amplamente utilizadas na engenharia para a estimativa de vazões de pico. Este método estabelece uma relação direta entre a precipitação e o escoamento, assumindo que a vazão máxima ocorre quando toda a bacia está contribuindo para o escoamento no ponto de interesse.

10.1. RESULTADOS

A vazão de pico de projeto foi calculada pela aplicação direta do Método Racional, utilizando os seguintes parâmetros para um tempo de recorrência de 100 anos:

$$A = 232,8483 \text{ ha};$$

$$I = 146,96 \text{ mm/h};$$

$$C = 0,58.$$

A aplicação desses parâmetros no método resultou na seguinte vazão de pico de projeto:

$$Q = 0,0028 \times 0,58 \times 146,96 \times 232,8483$$

$$Q = 55,57 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este valor da vazão de pico servirá como base para a subsequente análise de suficiência hidráulica da estrutura.

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	Leito do córrego claramente escavado em rocha, com o fluxo de água ocorrendo diretamente sobre o substrato rochoso
n ₁ – Grau de Irregularidade	Moderado	0,010	Margens rochosas com saliências e reentrâncias, e leito com variações de relevo, criando uma irregularidade moderada no escoamento.
n ₂ – Variações da Seção Transversal	Alterações Frequentemente	0,010	Variações nítidas e frequentes na largura e profundidade do canal, com formação de poços e áreas mais rasas ao longo do trecho.
n ₃ – Efeitos Relativos da Obstrução	Pequeno	0,010	Obstrução considerada pequena, limitada à estrutura simples da ponte e a detritos naturais que não impactam significativamente a seção de vazão.
n ₄ – Vegetação	Baixa densidade	0,010	Vegetação concentrada nas margens superiores do talude, com baixa interferência direta de galhos ou raízes no canal de escoamento principal.
m ₅ – Grau de Meandrilidade	Apreciável (curvatura perceptível)	1,150	Sinuosidade moderada do canal, com curva perceptível a montante no trecho analisado.

Tabela 11: 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: **$n = 0,075$** .

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 Piscina			i (m/m):		0,054		Cota Fundo:	
Coordenadas da OAE:		16°28'17,25"S 54°39'28,37"O			n:		0,075		218,287	
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	
219,287	1,00	2,91	4,79	0,61	2,08	2,23	6,49	55,57	17,85	
220,287	2,00	7,52	7,10	1,06	7,82	3,24	24,34			
221,287	3,00	12,53	9,10	1,38	15,51	3,85	48,28			
221,787	3,50	15,28	10,51	1,45	19,61	3,99	61,04			

Tabela 12 - Estudo de suficiência de vazão.

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

- Cota de cheia: **221,787**;
- Altura da lâmina d'água: **3,50 m**;
- Capacidade hidráulica da seção: **61,04 m³/s**;
- Coeficiente Geométrico - C_g : **19,61**;
- Coeficiente Hidráulico - C_h : **17,85**.

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 Piscina, 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.

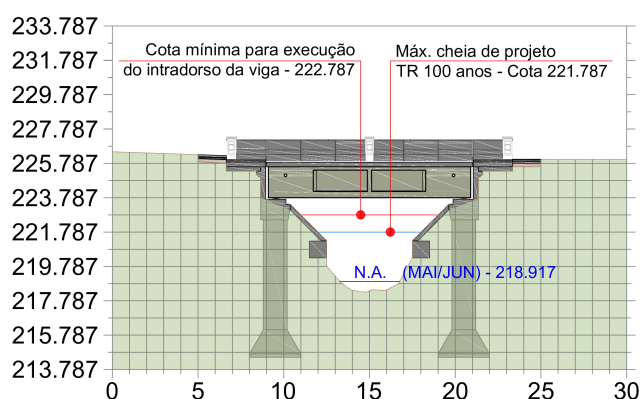


Figura 9 - Representação gráfica da seção da implantação da OAE.

12. CONCLUSÃO - OAE SOBRE O CÓRREGO PISCINA

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 221,787 m, com profundidade de 3,50 metros em relação ao fundo da calha, cuja cota é 218,287 m.

Dessa forma, a ponte projetada, com extensão total de 12,00 metros, **deverá ter a parte inferior da sua superestrutura (intradorso da viga) posicionada a uma cota mínima de 222,787 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 **61,04 m³/s**, superior à vazão de pico estimada de **55,57 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 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 implantação da OAE - vista as margens da Rua Pernambuco.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Imagem 2 - Local de implantação da OAE - vista as margens da Rua Pernambuco.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Imagem 3 - Local de implantação da OAE - vista do calha do curso d'água a montante.



Fonte: Acervo pessoal do autor.

Imagem 4 - Local de implantação da OAE - vista as margens da Rua Pernambuco.



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.

Documento assinado digitalmente
 **MARCUS VINICIUS DE MORAES ARRUDA**
Data: 09/07/2025 12:01:53-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marcus Vinicius de Moraes Arruda
Engenheiro Civil
CREA MT 046649

ANEXO

