

ESTUDO HIDROLÓGICO

OBRA: Obras em Estradas Vicinais com Construção e pavimentação

CONTRATO DE REPASSE: 962961/2024

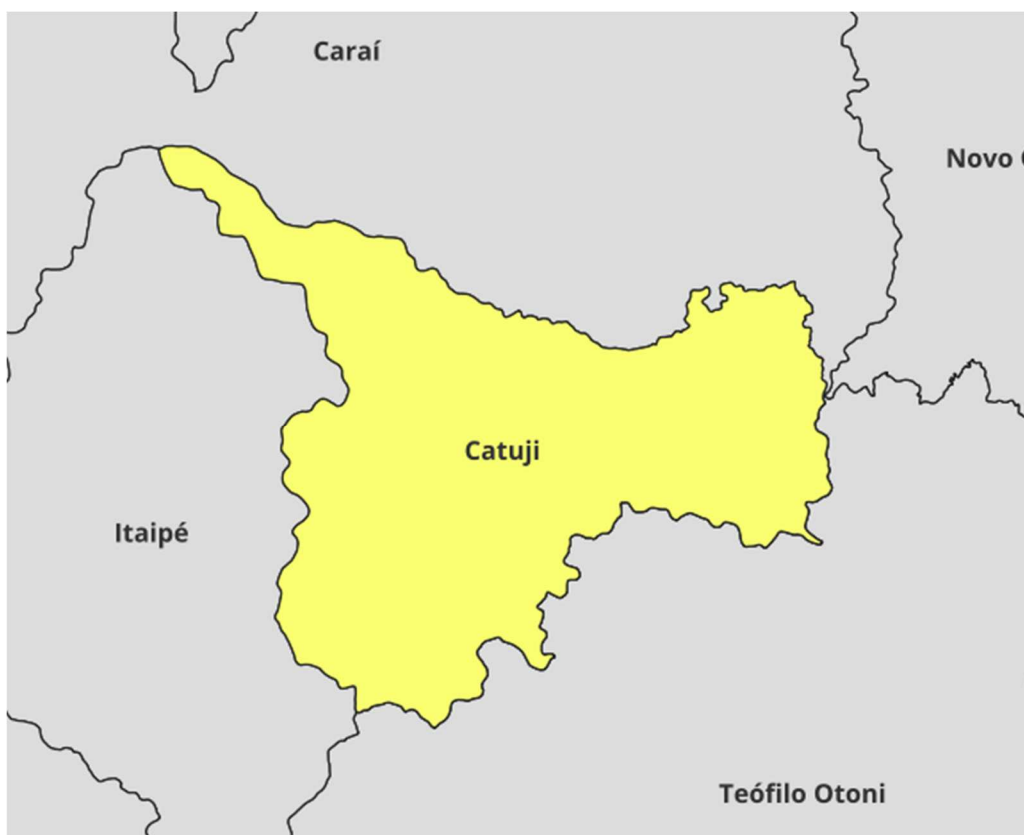
OPERAÇÃO: 1094651-99

1.1 DIAGNÓSTICO DO MUNICÍPIO

1.1.1 LOCALIZAÇÃO

O município de Catuji está localizado no Estado de Minas Gerais, mesorregião do Vale do Mucuri, microrregião de Teófilo Otoni. Com área de 419,383 Km² a sede do município fica a 513 Km de distância da capital Belo Horizonte pelas rodovias BR3116 e BR 381. É limítrofe com os municípios de Teófilo Otoni, Caraiá, Itaipé, e Novo Oriente de Minas, conforme mostra Figura 1.

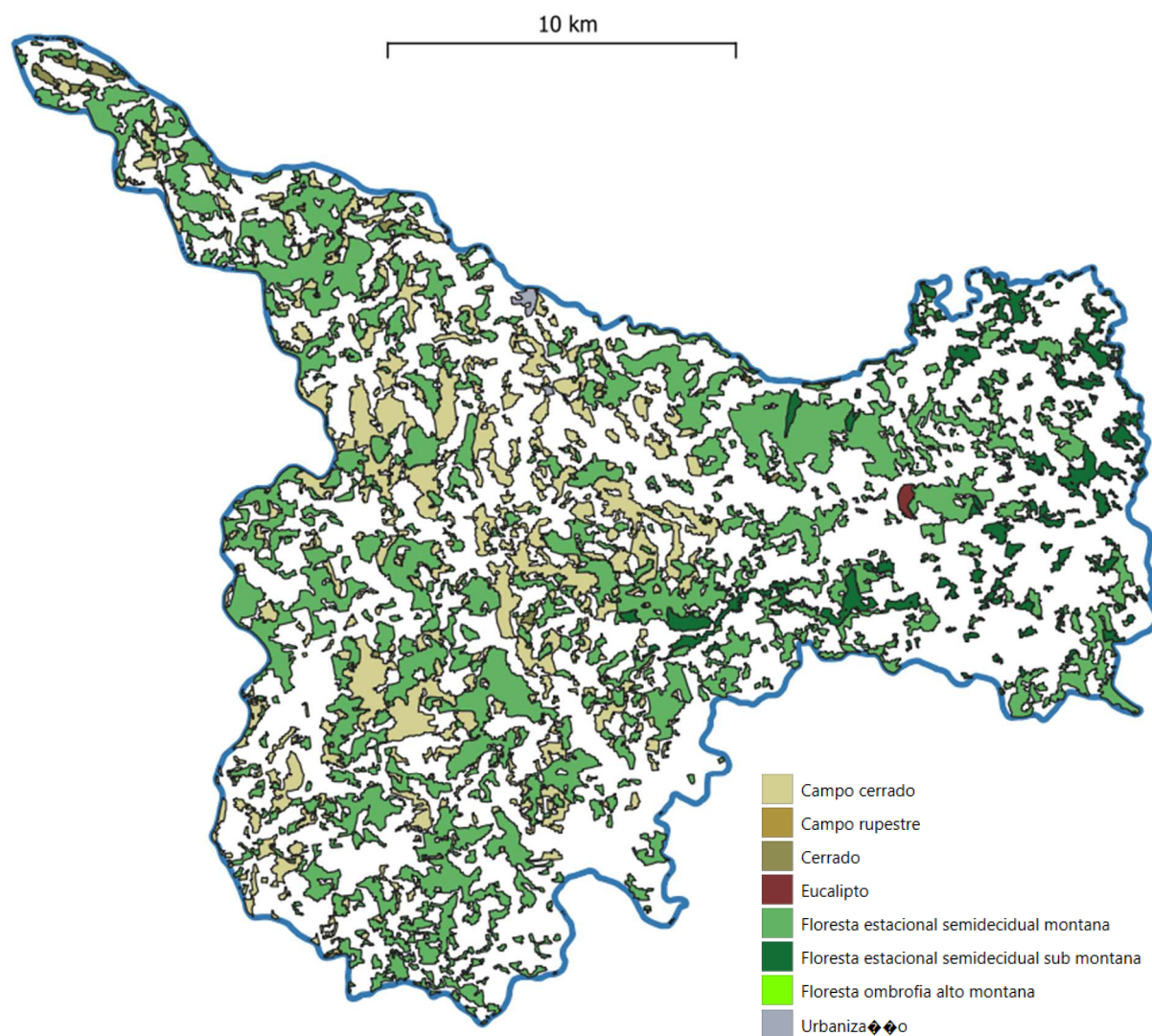
FIGURA 1 – MAPA DIVISÃO POLÍTICA IBGE 2010



1.1.2 VEGETAÇÃO

O município de Catuji possui três tipos de vegetação, a Floresta Estacional Semidecidual, Savana/Floresta Estacional e a Área Antropizada, sendo a maior parte do município área antropizada com o predomínio das atividades agricultura, agropecuárias e vegetação secundária, conforme figura 2.

FIGURA 02 – MAPA DE COBERTURA VEGETAL DO MUNICÍPIO



O conceito ecológico de floresta estacional semidecidual é estabelecido em função da ocorrência de clima estacional que determina semideciduidade da folhagem da cobertura florestal. Na zona tropical, associa-se à região marcada por acentuada seca hiberna e por intensas chuvas de verão; na zona subtropical, correlaciona-se a clima sem período seco, porém com inverno bastante frio (temperaturas médias

mensais inferiores a 15°C), que determina repouso fisiológico e queda parcial da folhagem.

Ao contrário das florestas ombrófilas, este tipo é constituído por fanerófitos com gemas foliares protegidas da seca por escamas (catáfilos ou pelos) e cujas folhas adultas são esclerófilas ou membranáceas decíduais. A porcentagem das árvores caducifólias no conjunto florestal, e não das espécies que perdem as folhas individualmente, situa-se, ordinariamente, entre 20% e 50%.

Nas áreas tropicais, é composta por mesofanerófitos que em geral revestem solos areníticos distróficos. Já nas áreas subtropicais, é composta por macrofanerófitos que recobrem solos basálticos eutróficos. Esta floresta possui dominância de gêneros amazônicos de distribuição brasileira, como, por exemplo: Parapiptadenia; Peltophorum; Cariniana; Lecythis; Handroanthus; Astronium; e outros de menor importância fisionômica.

A Savana/Floresta Estacional é um Subgrupo de formação com fisionomia típica e característica restrita a áreas areníticas lixiviadas com solos profundos, ocorrendo em um clima tropical eminentemente estacional. Apresenta sinúsias lenhosas de micro e nanofanerófitos, tortuosos com ramificação irregular, providos de macrófitos esclerófitos perenes ou semidecíduos, ritidoma esfoliado corticoso rígido ou córtex maciamente suberoso, com órgãos de reserva subterrâneos ou xilopódios, cujas alturas variam de 6 a 8 m. Em alguns locais, apresenta sinúsias lenhosas de meso e microfanerófitos com altura média superior aos 10 m, sendo muito semelhante, fisionomicamente, a Florestas Estacionais, apenas diferindo destas na sua composição florística. Não apresenta sinúsia nítida de caméfitos, mas sim relvado hemicriptófito, de permeio com plantas lenhosas raquíticas e palmeiras anãs.

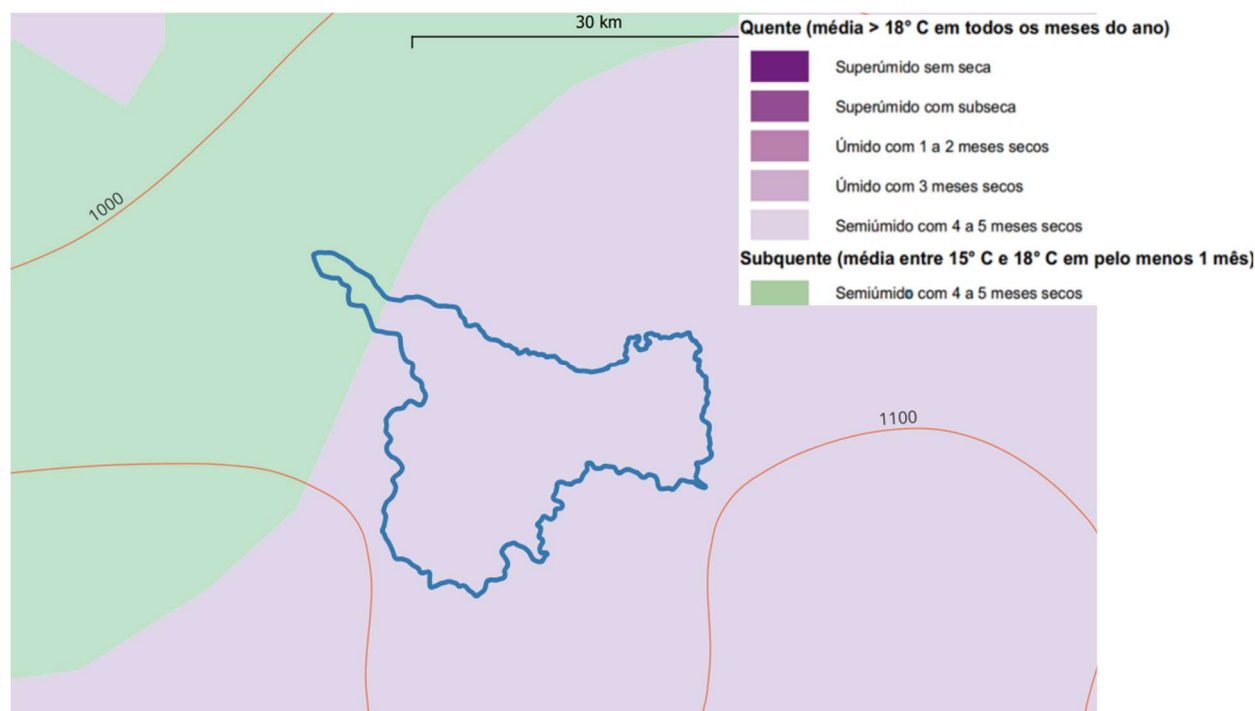
Extremamente repetitiva, a sua composição florística reflete-se de norte a sul em uma fisionomia caracterizada por dominantes fanerófitos típicos.

Já as áreas antropizadas que tomam a maior área do município trata-se de locais onde as características originais (solo, vegetação, relevo e regime hídrico) foram alteradas por consequência de atividade humana. Exemplos: pastagem, estradas, lavoura, cidade.

1.1.3 CLIMA E PLUVIOMETRIA

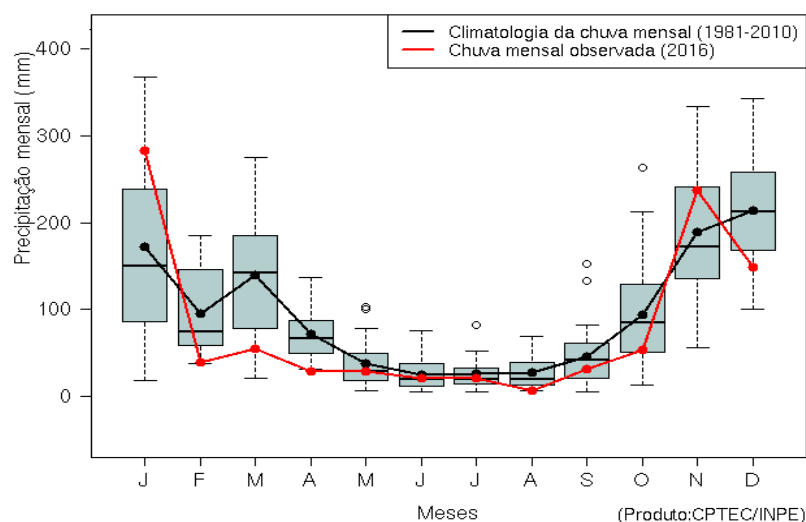
O município de Catuji faz parte da região de Clima Quente semiúmido com 4 a 5 meses secos, representando uma área de transição entre um clima quente úmido ao norte e um clima subquente semiúmido a sul (figura 3).

FIGURA 3 – MAPA CLIMÁTICO



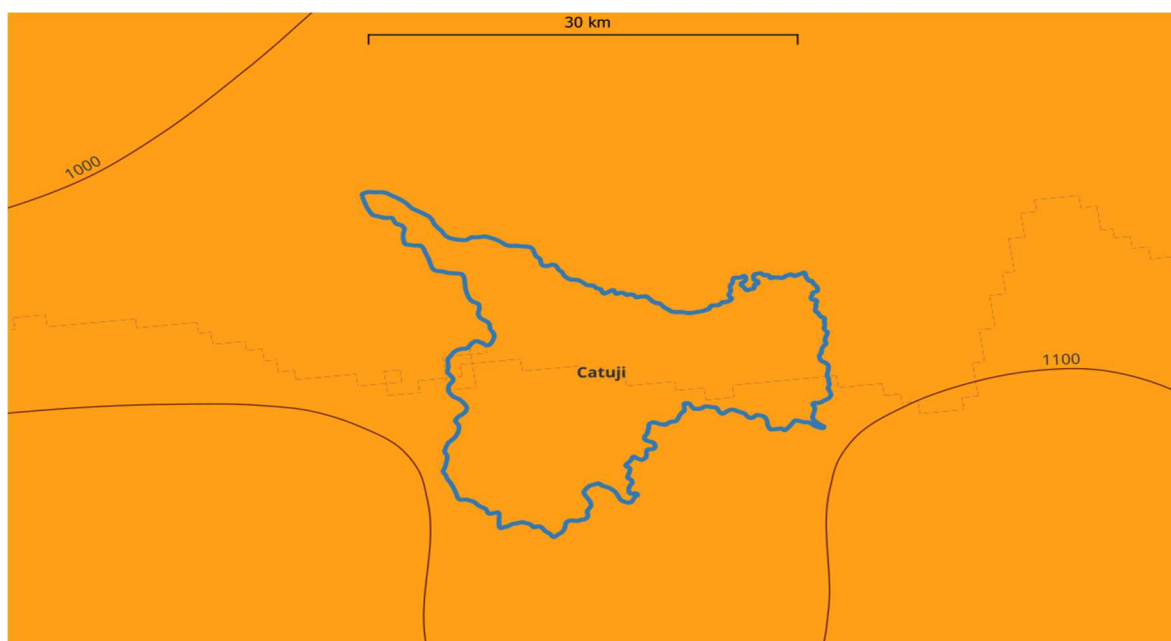
A figura 4 apresenta a evolução mensal e sazonal das chuvas durante o ano para a região hidrográfica do Atlântico Leste.

FIGURA 4 – EVOLUÇÃO MENSAL E SAZONAL DAS CHUVAS DA REGIÃO DE TEÓFILO OTONI



As chuvas são registradas com maior incidência entres os meses de novembro a março, chegando a uma precipitação média máxima em dezembro de 285 mm e mínima em agosto de 13 mm. A pluviometria média anual é de 1000 mm (figura 05). A temperatura média anual é de 23°, tendo como máxima de 33.2° e mínima de 12.9°.

FIGURA 5 – MAPA DE ISOIETAS TOTAIS ANUAIS



1.1.4 HIDROGRAFIA

Os rios existentes em Catuji fazem parte da bacia hidrográfica do Rio Mucuri. O Córrego do Tatu e Córrego Jenipapão estão inseridos em uma região de relevo acidentado e com fundos de vales estreitos. Nesse contexto topográfico esse rio é caracterizado por possuir alta energia, cheias bruscas e uma grande quantidade de cabeceiras de drenagem em seu perfil longitudinal. A figura 06 apresenta a o mapa hidrográfico do município com destaque para a bacia em estudo.

Figura 7 – Mapa de Solos (IBGE)



Figura 08 – Mapa de Geodiversidade (CPRM)

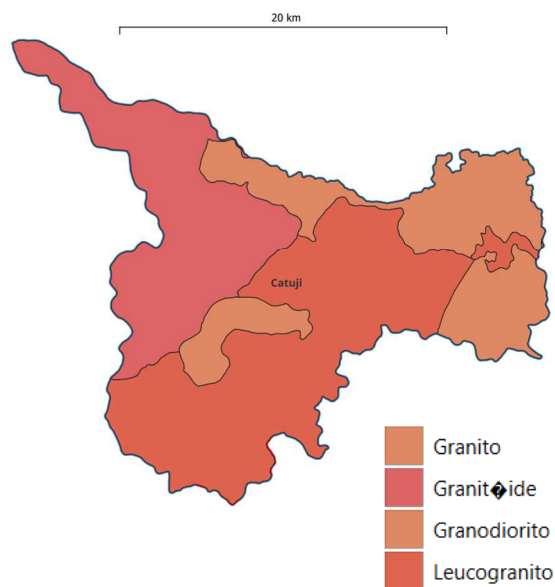
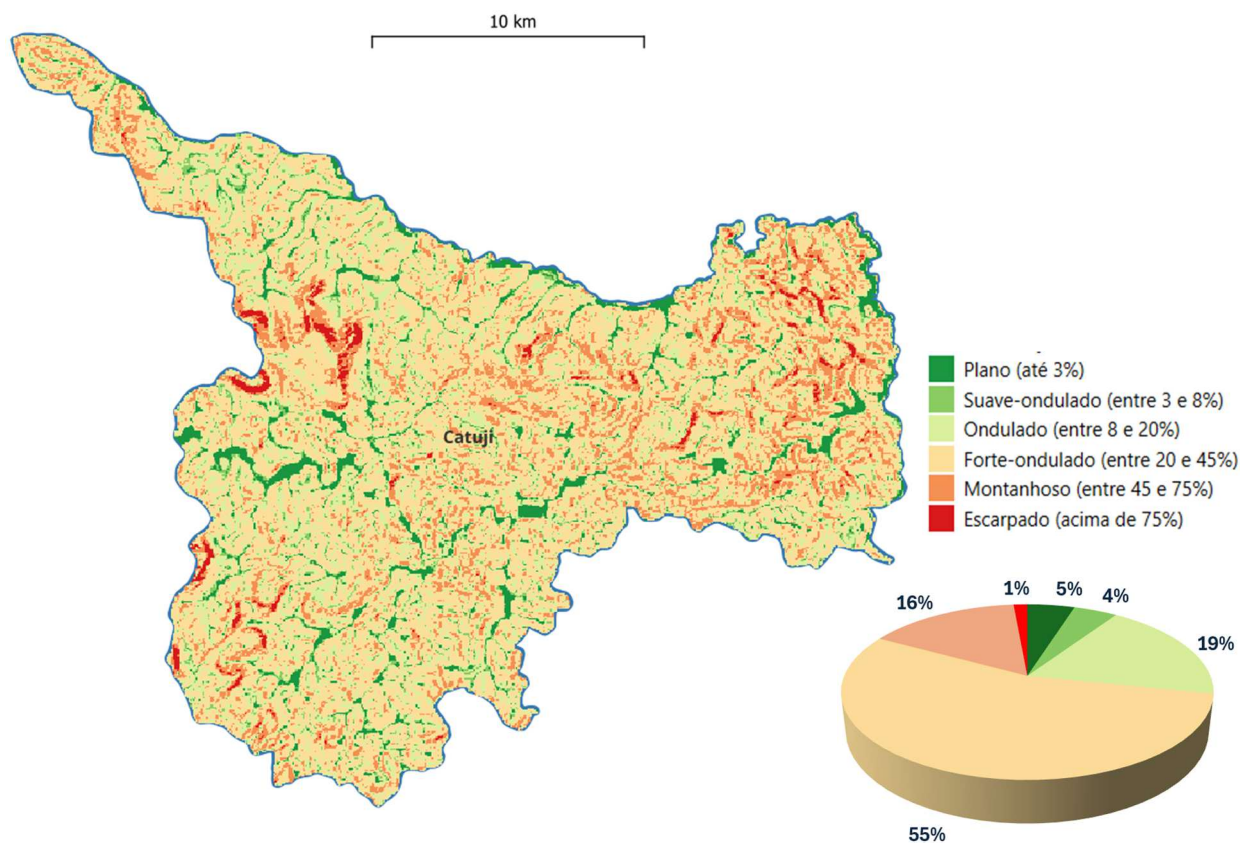


FIGURA 9 – MAPA DE DECLIVIDADE DO MUNICÍPIO DE CATUJI



1.1.6 POPULAÇÃO

Segundos dados do IBGE (Censo 2022), a população total do município é de 7.030 habitantes (3.206 residentes em área urbana e 3.824 residentes em área rural), com IDH de 0,54. Em 2021, o Pib per capita foi de R\$ 13.420,70. A taxa de escolarização de 6 a 14 anos é de 95,7%.

1.1.7 SANEAMENTO BÁSICO

Apresenta 39% de domicílios com abastecimento de água tratada. Os domicílios com esgotamento sanitário adequado representam 29% do total de domicílios da cidade.

1.8 DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA ENFRENTADO

O Córrego Jenipapão, localizado no município de Catuji (MG), é um curso d'água sazonal sujeito a variações significativas de vazão, especialmente durante o período de chuvas intensas na região. Atualmente, o local é atendido por uma ponte improvisada de madeira, construída como solução emergencial após a destruição de um bueiro metálico anterior por eventos hidrológicos extremos. Essa estrutura precária, além de apresentar riscos à segurança, limita o tráfego de veículos e pedestres, comprometendo a mobilidade local e o desenvolvimento socioeconômico da área.

Os principais problemas são:

- A ponte de madeira existente não possui capacidade técnica para suportar cargas elevadas ou resistir a eventos climáticos severos, como enxurradas.
- Há sinais de degradação acelerada do material (apodrecimento da madeira, corrosão de fixações metálicas e danos por ação de insetos), o que aumenta o risco de colapso.
- O histórico de destruição do antigo bueiro metálico evidencia a subdimensionamento da estrutura anterior para suportar a vazão máxima do córrego em períodos chuvosos.
- Observa-se erosão nas margens e no leito do córrego, agravada pela falta de proteção adequada nas fundações da ponte atual.

- A restrição de acesso prejudica o transporte de produtos agrícolas, o deslocamento de moradores e o atendimento de serviços essenciais (saúde e educação).
- A estrutura precária expõe usuários a acidentes, principalmente em épocas de cheias, quando a ponte fica instável ou submersa.
- O aumento da frequência de eventos extremos de chuva na região demanda estruturas resilientes a altas vazões.

As fotografias abaixo evidenciam o estado atual da ponte.



1.9 DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO ADOTADA

Os estudos técnicos desenvolvidos pelo município indicam a necessidade de construção de uma ponte de concreto armado. Para tanto o estudo hidrológico determinará as dimensões adequadas da ponte.

2 ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Para determinação da intensidade da chuva a ser utilizada, foram analisados os registros pluviométricos diários máximos do posto meteorológico da cidade de Teófilo Otoni, situado no distrito de Mucuri, operado pelo CEMADEN, disponível no banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA.

2.1 Metodologia

A metodologia adotada atende as orientações básicas do Manual de Estudos hidrológicos do DNIT. A metodologia utilizada encontra-se explicitada a seguir :

2.1.1 Compilação dos dados:

Para a realização dos estudos e projetos foram efetuados os seguintes serviços de campo:

- Inspeção ao trecho – Avaliação, "in loco", do comportamento de todo o sistema de drenagem existente e para identificar os problemas ocorrentes avaliando as características locais, bem como a bacia de contribuição de grande porte.
- O levantamento topográfico e cadastro de drenagem de forma a caracterizar perfeitamente a calha e a inclinação do talvegue.
- A área da bacia contribuinte foi calculada a partir da restituição elaborada com base nas fotos aéreas da região e das informações de relevo com curvas de nível equidistantes de 20 m, obtido do projeto SRTM - Shuttle Radar Topography Mission gerenciado e idealizado pela NASA - National Aeronautics and Space Administration.
- Os dados pluviométricos foram pesquisados no banco de dados da Agência Nacional de Águas.

De posse dos dados coletados, procedeu-se a análise estatística, para fins de aplicação metodológica na determinação de chuvas intensas.

O método estatístico baseia-se na hipótese que as precipitações são variáveis aleatórias com população infinita, controladas por alguma fórmula matemática que pode ser aplicada com igual validade ao longo de toda a série, isto é, para todos os valores da variável, sendo mínimos ou máximos. GARCIA e BRAGA Jr. (1997) apontam severas

críticas a esta metodologia, principalmente a instabilidade gerada pela presença de um evento extraordinário na série de dados observados, e sugerem um novo método, unindo a estatística com a metodologia determinística. Entretanto, acompanhando a prática em Hidrologia no Estado de Minas Gerais, optou-se por trabalhar apenas estatisticamente com os dados coletados.

Para determinação das precipitações máximas seguiu-se a metodologia proposta pelas publicações do DNIT citadas anteriormente, as quais se valem da aplicação do método de “Gumbel”, da equação de “Ven Te Chow” e da metodologia proposta por Taborda Torrico (Método das Isozonas) para transformação das chuvas de 24 horas em chuvas de menor duração.

O resultado final é um gráfico de Intensidade-Duração-Frequência, que a partir de um dado tempo de duração (igualado ao tempo de concentração da bacia de contribuição, isto é, o tempo para que toda a bacia passe a contribuir para a vazão na seção estudada), fornece a Intensidade de precipitação, em mm/h, para aquele tempo.

2.1.2 Tempo de Recorrência

Os tempos de recorrência adotados são os preconizados pelas instruções do Manual de hidrologia Básica do DNIT (2005). São eles:

OBRA	TR ADOTADO
PONTE	50 ou 100 anos

Optou-se pela utilizando o período do recorrência indicado para pontes porque é compatível com a expectativa de vida útil da estrutura que se busca dimensionar e, também, para que seja utilizada como referência para a elaboração de projetos de obras de arte para transposição do leito do Ribeirão no local indica.

2.1.3 Distribuição de Valores Extremos - Tipo I (Distribuição de Gumbel)

O método utilizado no equacionamento das precipitações foi o da Distribuição de Valores Extremos - Tipo 1, também chamado de Distribuição de Gumbel.

Esta distribuição, para o caso específico de precipitação, afirma que se $Y_j, j = 1, 2, \dots, n$, são precipitações entre n precipitações ocorridos em um ano e $X_n =$ precipitação máxima ocorrida em um ano, ou seja: $X_n = \max (y_1, y_2, \dots, y_n)$, a probabilidade de

qualquer um dos elementos da série ser menor que um dado $P(X < x)$ é dada pela Função de Distribuição de Probabilidade (FDP):

$$F_x(X) = e^{-e^{-\alpha(x-\mu)}}$$

$F_x(X)$ = função de distribuição de valores extremos;

e = base do logaritmo natural;

α = parâmetro de escala;

m = parâmetro de locação (moda da distribuição)

x = variável.

A média \bar{x} , a variância S_x^2 e o fator de frequência k desta distribuição são dados respectivamente por:

$$\bar{x} = \mu + \frac{\delta}{\alpha}$$

$$S_x^2 = \frac{\pi^2}{6\alpha^2}$$

$$k = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \left\{ \delta + \ln \left[\ln \left(\frac{Tr}{Tr-1} \right) \right] \right\}$$

Tr = tempo de recorrência, em anos;

$\delta = 0,57725...$ (constante de Euler).

α = parâmetro de escala;

μ = parâmetro de locação;

Os parâmetros α e μ são os parâmetros da Distribuição de Gumbel a ajustar.

Os índices das chuvas intensas foram obtidos aplicando-se as expressões abaixo relacionadas:

2.1.4 Método Simplificado de Ven Te Chow

A precipitação máxima para o tempo de recorrência desejado foi determinada pela expressão abaixo, utilizando-se os fatores de frequência de Weise e Reid na relação estabelecida por Gumbel na equação simplificada de Ven Te Chow:

$$P = P_m + K \cdot s$$

onde:

P = precipitação máxima para o TR desejado (mm);

Pm = precipitação média da série (mm);

K = fator de frequência;

s = desvio padrão da série;

2.1.5 Método das Isozonas

Os dados deste posto serviram de base para o equacionamento das curvas de precipitação e intensidade, duração e frequência das chuvas de projeto. Para obter as curvas que sintetizam a intensidade, duração e recorrência, foi utilizada a metodologia baseada no método das isozonas de igual relação, desenvolvida por Taborga, que relacionam zonas de igual precipitação em todo país – ver mapa anexo. Os coeficientes K1 referente a chuva de 1h-24 h e o coeficiente K2 referente a chuva 0,1h-24 h, se encontram relacionados na figura a seguir.

O resultado final é um gráfico de Intensidade-Duração-Frequência, que a partir de um dado tempo de duração (igualado ao tempo de concentração da bacia de contribuição, isto é, o tempo para que toda a bacia passe a contribuir para a vazão na seção estudada), fornece a Intensidade de precipitação, em mm/h, para aquele tempo.

Para determinar a equação de precipitação é realizado um ajuste matemático através de uma função logarítmica. Utilizando o método das isozonas, obtemos somente 3 (três) pontos para elaborar este ajuste matemático, e por isso é conveniente segmentar em duas equações de precipitação para faixas de tempo de duração de chuva entre 6min a 1h e 1h a 24h, conforme apresenta-se em seguida.

Para o método racional, considera-se que a duração de chuva que gerará a vazão máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia, assim, a equação da chuva é em função do tempo de concentração calculado para cada bacia. Isto se explica porque quando a chuva atinge a duração do tempo de concentração, toda a bacia passa a contribuir para o ponto de interesse da vazão projeto

Os índices das chuvas intensas foram obtidos aplicando-se as expressões abaixo relacionadas:

$$P \ 1 \ h = P \ 24 \ h * K1$$

$$P_{0,1\text{ h}} = P_{24\text{ h}} * K2$$

Calcula-se a precipitação para uma duração entre 0,1 h e 1 h através de:

$$P = (P_{1\text{ h}} - P_{0,1\text{ h}}) * \text{LOG } tc + P_{1\text{ h}}$$

Calcula-se a precipitação para uma duração entre 1 h e 24 h através de:

$$P = (P_{24\text{ h}} - P_{1\text{ h}} / \text{LOG } 24) * \text{LOG } tc + P_{1\text{ h}}$$

2.1.6 Posto Mucuri

O Posto Mucuri apresenta o Código 1741001, está localizado no distrito de Mucuri, cidade de Teófilo Otonio, e pertence à Bacia do Atlântico Leste. Está situado numa altitude de 330 m e é operado pelo CPRM, disponível no banco de dados da Agência Nacional de Águas – ANA (FIGURA 17).

FIGURA 17 - IDENTIFICAÇÃO DO POSTO METEOROLÓGICO



FIGURA 18 - ISOZONAS DE IGUAL RELAÇÃO

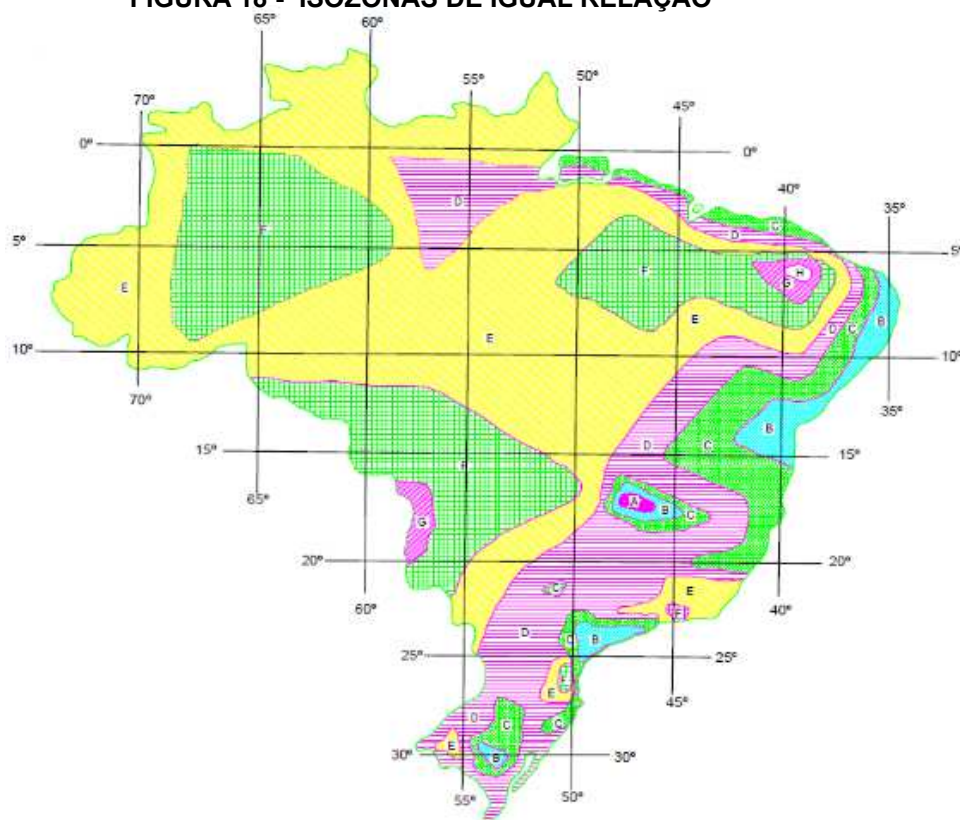


TABELA 01 - TEMPO DE RECORRÊNCIA POR ISOZONA

Isozona	1h/24h chuva										6 min/24h	
	TR (anos)										TR (anos)	
	5	10	15	20	25	30	50	100	1000	10.000	5-50	100
A	36,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,3	35	34,7	33,6	32,5	7	6,3
B	38,1	37,8	37,5	37,4	37,3	37,2	36,9	36,4	37,2	36	8,4	7,5
C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	38,8	38,4	37,2	36	9,8	8,8
D	42	41,6	41,4	41,2	41,1	41	40,7	40,3	39	37,8	11,2	10
E	44	43,6	43,3	43,2	43	42,9	42,6	42,2	40,9	39,6	12,6	11,2
F	46	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	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

O posto é monitorado desde 1967 até o ano de 2024. O posto foi escolhido em razão de sua representatividade, isto é, grande número de medições e estar situado na mesma Isozona (ver figura 18).

A partir dos dados de chuvas diárias máximas anuais, efetuou-se a análise de frequência dos eventos hidrológicos máximos de projetos, pela utilização do Método de Gumbel.

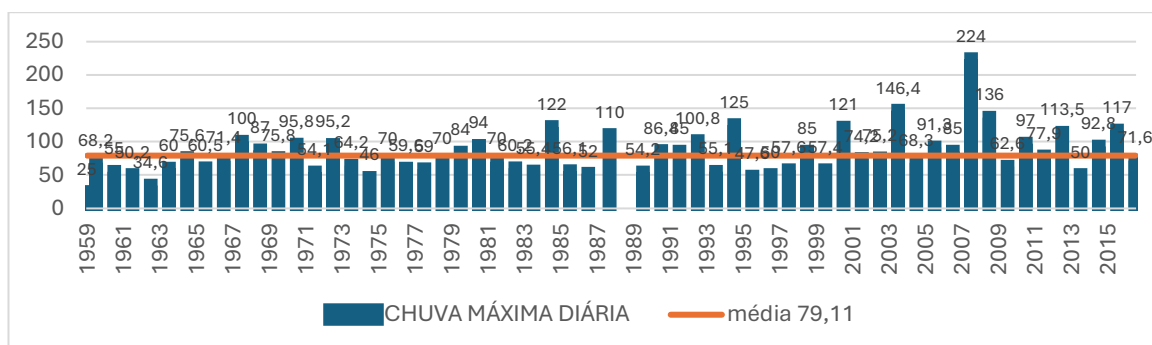
2.2 Intensidade e altura de Chuva

Considerando a existência do posto pluviométrico de Teófilo Otoni, será utilizado o método estatístico, anteriormente descrito para a determinação das chuvas intensas. No quadro abaixo são apresentados os dados resumidos da estação pluviométrica de Mucuri.

TABELA 02 – RESUMO DA ANÁLISE DAS PRECIPITAÇÕES

Nº DE AMOSTRAS (ANOS)	58	SOMATÓRIO PRECIPITAÇÃO (mm)	4588,80
PRECIPITAÇÃO MÉDIA:	79,12	DESVIO PADRÃO:	31,98

GRÁFICO 01 – PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS POSTO DE MUCURI



Para um nº de amostras igual a 58 e um tempo de recorrência de 50 e 100 anos temos:

TABELA 3 – FATORES DE FREQUÊNCIA 'K'

PERÍODO DE RETORNO EM ANOS	50	100
FATOR DE FREQUÊNCIA 'K' DISTRIBUIÇÃO DE GUMBELL	2,59	3,14
FATOR DE FREQUÊNCIA 'K' DISTRIBUIÇÃO NORMAL	2,05	2,33

Chuva intensa para período de retorno de 50 anos:

$$P_{50} = 79,12 + 31,98 \cdot 2,59$$

$$P_{50} = 162,02 \text{ mm}$$

Chuva intensa para período de retorno de 100 anos:

$$P_{50} = 79,12 + 31,98 \cdot 3,14$$

$$P_{50} = 179,44 \text{ mm}$$

Na tabela abaixo constam os resultados obtidos pelo método das isozonas que sintetizam precipitação x duração x frequência.

TABELA 4 – DESAGREGAÇÃO DAS CHUVAS

TEMPO DE RETORNO	K1	K2	P DIA (mm)	P 24 H (mm)	P 1H (mm)	P 0,1 H (mm)
50 ANOS	38,8	9,8	162,02	184,703	71,665	18,101
100 ANOS	37,2	8,8	179,44	204,562	76,097	18,001

3 Metodologia da determinação das descargas

A bacia hidrográfica do Rio Verde e seus parâmetros topométricos foram aferidos em informações de relevo com curvas de nível eqüidistantes de 20m, obtido do projeto SRTM - Shuttle Radar Topography Mission gerenciado e idealizado pela NASA - National Aeronautics and Space Administration.

Os parâmetros físicos foram:

- Área superficial em km²;
- Extensão longitudinal da linha de talvegue (para bacias pequenas), ou quando possível, o perfil do talvegue (para bacias maiores), entre o ponto mais distante, nas nascentes da bacia, e o ponto de interceptação do talvegue pelo corpo estradal;
- A declividade equivalente da linha de talvegue, obtido através do perfil do talvegue principal, limitando o estudo entre o ponto mais distante, nas nascentes da bacia, e o ponto de interceptação do talvegue pelo corpo estradal;
- Caracterização dos tipos de cobertura e uso do solo na bacia permitindo ponderar o coeficiente de escoamento superficial adequado.

Para a bacia em estudo temos:

ÁREA DA BACIA CONTRIBUINTE (KM ²)	23,30	DECLIV. MÉDIA DO TALVEGUE (M/M):	0,35%
COMPRIMENTO DO TALVEGUE (KM)	8,8	DESNÍVEL MÁXIMO (m)	304

3.3.3.1 Tempo de Concentração

3.3.3.1.1 Fórmula do DNOS

O tempo de concentração das bacias hidrográficas contribuintes afetadas pelo projeto foi determinado pela expressão do Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS), a saber:

$$tc = \frac{A^{0,3} * L^{0,2}}{2,4 * K * i^{0,4}}$$

A= área da bacia contribuinte (km²)

L= comprimento do talvegue (km)

i= declividade média do talvegue principal (m/m)

K= coeficiente de permeabilidade do solo (adimensional)

tc= tempo de concentração (h)

O Coeficiente de Permeabilidade (k) foi determinado segundo o Manual de Serviços de Consultoria para Estudos e Projetos Rodoviários do extinto DNOS.

Para uso na fórmula anterior, o coeficiente K pode assumir os valores constantes no quadro seguinte:

TABELA 5 – VALORES DO COEFICIENTE ADIMENSIONAL

VALORES DO COEFICIENTE	
CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS	"K"
Terreno areno-argiloso coberto de vegetação intensa, elevada absorção	2
Terreno argiloso coberto de vegetação, absorção média apreciável	3
Terreno argiloso coberto de vegetação, absorção média	4
Terreno com vegetação média, pouca absorção	4,5
Terreno com rocha, escassa vegetação, baixa absorção	5
Terreno rochoso, vegetação rala, reduzida absorção	5,5

O tempo de concentração calculado pelo método do DNOS é de 218,30 minutos.

3.3.3.1.2 Fórmula de Lag

O atraso da onda de cheia em relação a chuva que a produzia, é designado por "lag", considerando-se o tempo decorrido entre o centro do hietograma (registro das precipitações ao longo do tempo) da chuva unitária e o momento em que ocorreram 50% do volume do hidrograma unitário correspondente; é dado pela expressão:

$$Lag = 14,43Kn \left(\frac{L \cdot Lc}{I^{0,5}} \right)^{0,33}$$

Sendo:

Lag= em horas;

L = comprimento do curso d'água mais comprido, em Km;

L_c = comprimento, em km, ao longo do mesmo curso do posto de medição até o ponto mais próximo ao centro de gravidade da bacia de drenagem;

I = declividade do curso principal, em m/km, até o divisor e

K_n = média dos coeficientes de Manning (rugosidade) ao longo dos cursos d'água mais importantes da bacia.

O tempo de concentração calculado pelo método de LAG é de 299,58 minutos.

O método de Lag com $K_n=0,07$ pode ser considerado para bacias com área superiores a 10 km², para as quais os resultados se aproximam bastante da fórmula de KIRPICH MODIFICADA e, portanto, das médias de todas as fórmulas analisadas.

Considerando a área da bacia de contribuição que é maior do que 10 km² utilizamos a equação de LAG como metodologia de cálculo conforme prescrito no Manual de Hidrologia Básica do DNIT.

3.3.3.2 Método do Hidrograma Unitário Triangular

O método do Hidrograma triangular sintético, preconizado pelo U. S. Soil Conservation Service (1952), é utilizado para estimativa de vazão de bacias com áreas superiores a 10 Km². Para áreas maiores que 2.500 km² deverá ser dividida a bacia em sub-bacias com áreas até 2.500 km².

O escoamento superficial direto (hidrograma de projeto) é definido com a utilização do método extraído em sua maior parte da publicação "Hidrology Guide for Use Watershed Planning", publicado pelo "SCS - Soil Conservation Service", com o emprego de coeficientes baseados em dados e observações relativas às bacias hidrográficas norte-americanas.

O método consiste num processo indireto que leva em conta as características físicas, climáticas e hidrológicas das bacias, utilizando para tanto uma configuração simplificada triangular dos fluxogramas, guardando as relações básicas entre seus diversos componentes hidrológicos.

A aplicação do método ocorre mediante a determinação dos seguintes parâmetros:

- tipo do solo;

- uso do solo;
- tipo de cobertura vegetal; e
- condições antecedentes de umidade do solo.

Todos estes fatores estão sintetizados num único valor, tabelado, denominado “Número da Curva”, cujo valor foi obtido pela ponderação de características físicas observadas nas bacias em estudo, descrito na tabela:

TABELA 6 – VALORES DA CURVA NÚMERO

Utilização da Terra	Condições da Superfície	Tipo de Solos da Área			
		A	B	C	D
Terrenos cultivados	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	73	79	82
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantação 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 campos	Em curvas de nível	60	72	81	84
Cultivados	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	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	Esparsas de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densa de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras/Estradas de terra	Normais	59	74	82	86
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76
Superfícies impermeáveis	Áreas urbanizadas	100	100	100	100

Observações:

- O solo do tipo A é o de mais baixo potencial de deflúvio. Terrenos muito permeáveis, com pouco silte e argila;
- O solo do tipo B tem uma capacidade de infiltração acima da média, após o completo umedecimento. Inclui solos arenosos;

- O solo do tipo C tem uma capacidade de infiltração abaixo da média, após a pré-saturação. Contém percentagem considerável de argila e silte;
- O solo do tipo D é o de mais alto potencial do deflúvio. Terrenos quase impermeáveis, junto à superfície. Argiloso.

3.3.3.2.1 Classificação do Recobrimento das Bacias Hidrográficas

A classificação da bacia hidrográfica em estudo, foi baseada nos seguintes fatores:

- Solo: constatou-se, devido a análise in loco e pelo os estudos geotécnicos, que o solo predominante na bacia contribuinte é argilo-siltoso. Sendo assim, foi considerado na determinação das descargas de projeto, os valores “Número da Curva”, o tipo do solo C.
- Cobertura Vegetal e Uso do Solo: devido a análise in loco foi percebido diversos tipos de cobertura vegetal na bacia hidrográfica. Podemos citar a predominância de áreas atropizadas com atividades de agricultura e pecuárias, complementada por áreas de Floresta Ombrófila.
- Valor do “Número da Curva” adotado: analisando as informações citadas determinamos para o “Número da Curva” ou “curva número” o valor igual a 75.

3.3.3.2.2 Formulação

Altura da Chuva Efetiva (h)

$$h = \frac{(P - I_a)^2}{P + 4 \cdot I_a}$$

onde:

h - altura da chuva efetiva (mm)

P - precipitação total (mm)

I_a - perdas iniciais (mm)

I_a = 0,2.S

Capacidade de Armazenamento de Água no Solo (S)

$$S = \frac{25.400}{CN} - 254$$

onde:

S - capacidade máxima de armazenamento de água no solo (mm)

CN - curva número

Caso a área da bacia de contribuição seja superior a 25km², a precipitação total deverá ser reduzida pela seguinte equação, devido à distribuição não uniforme da chuva na área da bacia contribuinte, ou seja, a precipitação média sobre uma área elevada é menor do que a precipitação em um ponto isolado.

$$P' = P * \left[1 - 0,10 \log \frac{A}{25} \right]$$

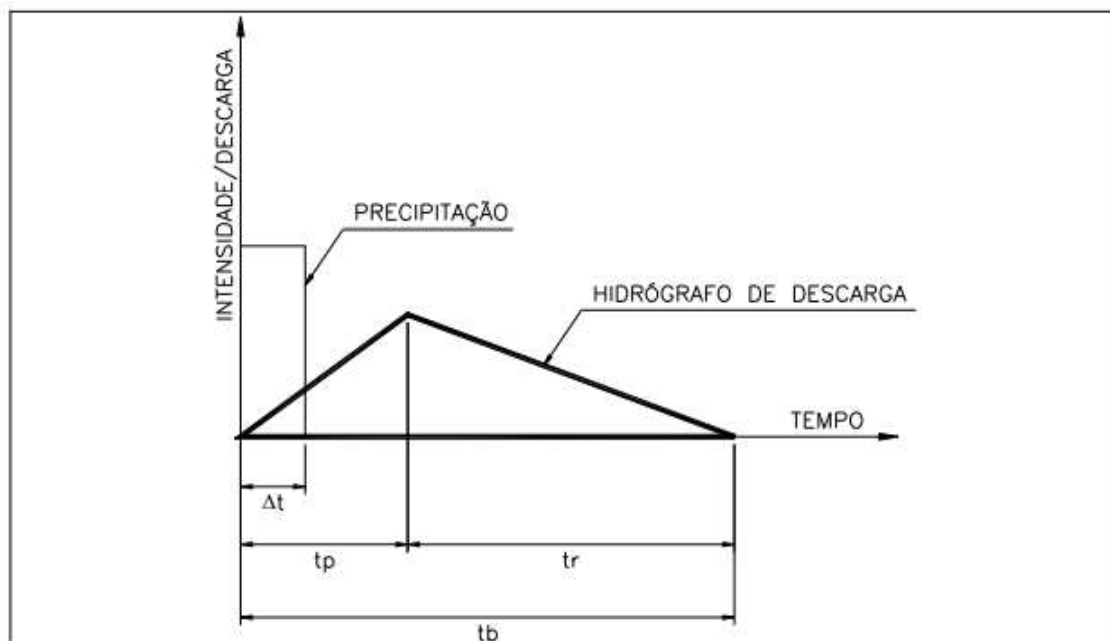
3.3.3.2.3 Hidrograma Unitário

A obtenção e aplicação do hidrograma unitário (HU) foi baseada nas seguintes hipóteses:

- a) a intensidade da chuva efetiva é constante durante a tormenta que produz o HUT;
- b) a chuva efetiva é uniformemente distribuída em toda a área de drenagem da bacia;
- c) tempo base ou tempo de duração do hidrograma do deflúvio superficial direto devido a uma chuva efetiva de duração unitária é constante;
- d) as ordenadas de hidrogramas de deflúvio superficial direto, com tempo base comum, são diretamente proporcionais aos volumes desses hidrogramas;
- e) os efeitos de todas as características de uma dada bacia de drenagem, incluindo forma, declividade, retenção, infiltração, rede de drenagem, capacidade de armazenamento do canal, etc., são refletidos na forma do hidrograma unitário da bacia.

Graficamente o MHTU assume a forma apresentada a seguir:

FIGURA 19 - GRÁFICO MHTU



Segundo o esquema básico do hidrograma, a sua formulação consiste nos seguintes parâmetros:

Δt = tempo unitário de duração de chuva, em função de t_c , sendo expresso em horas.

$$\Delta t = t_c/5$$

t_p = Tempo de pico. É o tempo em que decorre uma máxima de cheia na bacia considerada, sendo também expresso em horas.

$$t_p = \Delta t/2 + 0,6 t_c$$

t_r = Tempo de descida ou retomo. É o tempo decorrente até a normalização da descarga da bacia considerada após a precipitação. É fornecido em horas.

$$t_r = 1,67 t_p$$

t_b = Tempo base. É o tempo medido entre o início e o final da precipitação, enquanto a bacia volta a ter a sua descarga normal, sendo obtido em horas.

$$t_b = 2,67 t_p$$

Descarga de pico unitária:

$$q_p = \frac{0,208 \cdot A \cdot p}{t_p}$$

onde:

qp - pico do hidrograma unitário triangular (m³/s)

A - Área da bacia hidrográfica (km²)

p - precipitação unitária de 1 cm (mm)

tp - tempo de pico, já definido

Hidrogramas Finais

Após a determinação do hidrograma unitário e da chuva de projeto, foram calculados os hidrogramas de projeto com a aplicação da equação da convolução, apresentada abaixo, cujas vazões de pico resultantes estão nos quadros apresentados a seguir.

$$q_n = \sum_{i=1}^n p_i \cdot \delta_{n-i+1}$$

onde:

q - vazão de ordem n

p - precipitação efetiva de ordem i

δ - ordenada do hidrograma unitário

Determinação da Precipitação Efetiva, para o MHTU

A Precipitação Efetiva (Pe) é a fração da precipitação que contribui para o escoamento superficial e é expressa como função da perda total, que por sua vez é expressa em função do coeficiente CN.

Determinação da Precipitação Média sobre a Bacia

Para as bacias com áreas superiores a 25,0 km², adotou-se uma precipitação média, visando considerar os efeitos da distribuição das chuvas por toda área da bacia. Ao considerar-se este critério, o Método do Hidrograma assume a sua forma composta, denominando-se Método do Hidrograma Triangular Unitário Composto (M.H.T.U.C.).

O valor da precipitação média foi obtido através da fórmula de Paulhus, preconizada pela publicação "Práticas Hidrológicas", do Eng^o José J. Taborga Torrico, a qual é apresentada a seguir.

Fórmula de Paulhus:

$$P_m = p (1 - w \log A / a)$$

onde:

P_m = precipitação média na bacia, em mm;

p = precipitação pontual, considerada no centro de gravidade da bacia, correspondente à duração para o tempo de recorrência T_r , em mm;

w = tangente da curva que relaciona altura de chuva / área da bacia / tempo de duração.

É uma constante que depende da região. As pesquisas em andamento no Brasil permitem adotar um

valor médio para w igual a 0,10;

A = área da bacia contribuinte, km²;

a = área da bacia padrão, na qual $P_m = p$, segundo Linsley, Kohler e Paulhus deve ser igual a 25 km²

Determinação da Chuva Efetiva

A chuva efetiva foi determinada através da fórmula proposta pelo U.S. Soil Conservation Service, em função do complexo solo-vegetação (CN) e da precipitação média. Tal fórmula então assume o seguinte aspecto:

$$P_e = \frac{(P_m - \frac{5080}{CN} + 50,8)^2}{P_m + \frac{20320}{CN} - 203,2}$$

Onde,

P_e = chuva efetiva, em mm;

P_m = precipitação média sobre a bacia, em mm;

CN = número de deflúvio definido pelo complexo solo-vegetação.

3.3.4 ESTUDO HIDROLÓGICO DO CÓRREGO JENIPAPÃO

A bacia do Córrego Jenipapão, considerando como exutório da bacia o local de construção da futura ponte, apresentou as seguintes características hidrológicas:

- área de drenagem: 23,3 km²;
- comprimento de talvegue: aproximadamente 8,8 km;
- declividade média da bacia: 304 M;
- tempo de concentração: 1,13 horas.

PLANILHA DE CÁLCULO PARA A VAZÃO PELO MÉTODO DO HIDROGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR

DADOS DA ESTAÇÃO

METEOROLÓGICA

RODOVIA TRECHO CIDADE	ESTRADA VICINIAL	LOCALIZAÇÃO:	17°25'5.66"S
	ACESSO AO CÓRREGO JENIPAPÃO		41°31'7.32"O
	CATUJI	POSTO PLUVIOMÉTRICO:	TEÓFILO OTONI

ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS					ELEMENTOS CALCULADOS			
ÁREA DA BACIA	23,3	Km²	K	4,5	tc (h)	1,13614	tb (h)	2,123
			c	0,5	tp (h)	0,795	Δt(h)	0,227
TALVEGUE	8,8	Km	i (%)	2,00 %	tr (h)	1,328	qp (m³/s)	6,094

PRECIPITAÇÃO		89,24324		17,84864		5
EFETIVA	S=	32	CN= 74	Ia=	86	TR= 0 ANOS
Δt(h)	(ti)m³/s		P (mm)	P' (mm)	Pe (mm)	Δpe(mm)
0,0000	0,000		0,000		0,000	0,000
0,2272	1,741		38,625	38,743	3,964	3,964
0,4545	3,482		55,370	55,539	11,191	7,227
0,6817	6,615		60,268	60,452	13,766	2,575
0,9089	5,573		70,894	71,111	19,907	6,140
1,136143	4,530		79,136	79,378	25,110	5,203
1,3634	3,487		85,870	86,133	29,600	4,490
1,5906	2,445		91,564	91,844	33,542	3,942
1,8178	1,402		96,496	96,792	37,054	3,512
2,0451	0,360		100,847	101,155	40,220	3,166

HIDROGRAMA DE PROJETO											
t (h)	(tj)m ³ /s	PRECIPITAÇÃO EFETIVA (mm)									Q (m ³ /s)
		3,96		2,57	6,14	5,20	4,49		3,51		
		4	7,227	5	0	3	0	3,942	2	3,166	
0,0000	0,0000	0,000									0,000
0,2272	1,7411	0,000	0,000								0,000
0,4545	3,4822	6,902	12,584	0,000							19,485
0,6817	6,6151	13,803	25,167	4,483	0,000						43,454

0,9089	5,5725	26,22 2	47,810	8,967	10,69 1	0,000					93,690
1,1361	4,5299	22,08 9	40,275	17,03 4	21,38 2	9,059	0,000				109,839
1,3634	3,4874	17,95 7	32,740	14,34 9	40,62 0	18,11 7	7,817	0,000			131,600
1,5906	2,4448	13,82 4	25,205	11,66 5	34,21 8	34,41 7	15,63 4	6,864	0,000		141,827
1,8178	1,4023	9,691	17,670	8,980	27,81 6	28,99 3	29,70 0	13,728	6,115	0,000	142,693
2,0451	0,3597	5,559	10,135	6,295	21,41 4	23,56 9	25,02 0	26,079	12,23 0	5,513	135,812
2,2723			2,600	3,611	15,01 2	18,14 4	20,33 9	21,969	23,23 3	11,025	115,933
2,4995				0,926	8,611	12,72 0	15,65 8	17,859	19,57 1	20,945	96,289
2,7267					2,209	7,296	10,97 7	13,748	15,91 0	17,644	67,783
2,9540						1,871	6,296	9,638	12,24 8	14,343	44,396
3,1812							1,615	5,528	8,586	11,042	26,771
3,4084								1,418	4,925	7,741	14,084
3,6357									1,263	4,440	5,703
3,8629										1,139	1,139
Q MAX=											142,693

Com base nestas características efetuou-se o estudo hidrológico para o tempo de recorrência de 50. Os resultados obtidos foram os seguintes:

- Vazão para 50 anos: 142,69 m³/s (ver planilha 01);

TABELA 7 – ESTUDO DA VAZÃO NA PONTE – TR 50 ANOS

VAZÃO (m³/s)

PARA 50 ANOS	142,693	ÁREA DE DRENAGEM A MONTANTE DO LOCAL (A)	23,30
PARA 100 ANOS		DECLIVIDADE DO RIO NO TRECHO EM ESTUDO (I)	0,0100
TALUDE DO CANAL (m)		PROFUNDIDADE NO LOCAL DE INTERESSE (y)	A DEFINIR
LARGURA DA SEÇÃO DO CANAL (b)	11,2	COEFICIENTE DE PERDA DE RUGOSIDADE MANNING (n)	0,025

ALTURA	ÁREA MOLHADA (m²)	PERÍMETRO MOLHADO (m)	RAIO HIDRÁULICO (m)	COEFICIENTE DE RUGOSIDADE n	DECLIVIDADE LINHA D'ÁGUA (m/m)	VELOCIDADE (m/s)	VAZÃO (m³/s)
1	11,2	13,2	0,848	0,025	0,0100	17,09	40,15
1,5	16,8	14,2	1,183	0,025	0,0100	21,33	75,17
2	22,4	15,2	1,474	0,025	0,0100	24,69	116,03
2,2	24,64	15,6	1,579	0,025	0,0100	25,86	133,67
2,3	25,76	15,8	1,630	0,025	0,0100	26,41	142,74

Considerando o período de recorrência de 50 anos e as características geotécnicas da bacia hidrográfica bem como a largura de 11,20 metros de vão livre, a altura do N.A. máximo será 2,30 metros. Acrescenta-se 1,00 m de free board.

Catuji, 13 de março de 2025.

Miguel Silva Bravim
CREA MG 82.716/D