

Conceitos Básicos de Hidrologia e Drenagem para Projetos Rodoviários

Conteudista:

Eider Gomes de Azevedo Rocha

Brasília, setembro de 2022.

Conceitos Básicos de Hidrologia e Drenagem para Projetos Rodoviários

Módulo 2

Pluviometria.

- O que é pluviometria e instrumentos de medição;
- Obtenção e formas de processamento dos dados de chuva;
- Tempo de recorrência e tempo de concentração.

Conforme estabelece O Art. 11 da INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 03/DNIT SEDE, DE 1º DE ABRIL DE 2022, o servidor que optar por receber a GECC relativa à elaboração de material didático, cede, tacitamente e em caráter irrevogável, a titularidade dos direitos patrimoniais relativos aos materiais produzidos em decorrência dessa percepção. Desta forma, tendo em vista o contido no Processo nº 50600.008060/2022-01, o DNIT poderá revisar o material cedido, adaptá-lo e utilizá-lo livremente em outros eventos que venha a promover, bem como o ceder a outros órgãos e entidades federais..

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	Pluviometria.....	2
2.1.	PLUVIÔMETRO	2
2.2.	PLUVIÓGRAFO.....	3
3.	OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS DE CHUVA	6
3.1.	OTTO PFAFSTETTER	7
3.1.1.	Coleta dos dados.....	7
3.1.2.	Análise da frequência	9
3.1.3.	Representação gráfica	12
3.1.4.	Ajustamento de fórmulas empíricas	14
3.2.	ISOZONAS	18
3.2.1.	relação 24 horas / 1 dia	20
3.2.2.	relação 1 hora / 24 horas	20
3.2.3.	relação 6 minutos / 1 hora	21
3.2.4.	metodologia	21
3.3.	EQUAÇÕES DE CHUVAS (COPASA / DAEE).....	24
4.	Tempo de Recorrência e Tempo de concentração	25
4.1.	TEMPO DE RECORRÊNCIA	25
4.2.	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO	29
4.2.1.	Fórmula de Kerby	31
4.2.2.	Fórmula de Kirpich	31
4.2.3.	Fórmula de Picking.....	32
4.2.4.	Fórmula do U. S. CORPS OF ENGINEERS	32
4.2.5.	Fórmula de VEN TE CHOW	32
4.2.6.	Fórmula do DNOS	33
4.2.7.	Fórmula de Kirpich (modificada)	33
4.2.8.	Fórmula de GEORGE RIBEIRO.....	34
4.2.9.	Fórmula de Pasini.....	34
4.2.10.	Fórmula de Ventura.....	35
4.2.11.	Fórmula de Rossi	35
4.2.12.	Fórmula de Giandotti	35
4.2.13.	Fórmula de John Collins.....	36
4.2.14.	R. Peltier / J. L. Bonnenfant	36
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

No módulo anterior foram apresentados os conceitos relacionados ao clima e à hidrologia, bem como foram abordadas as fases que constituem o ciclo hidrológico.

Dentre as fases constituintes de tal ciclo, foi dado destaque ao escoamento e à precipitação, sendo esta última a que será abordada com maior ênfase neste presente módulo.

De início serão apresentados o conceito e os principais instrumentos de medição de chuva, passando pela forma de obtenção destes dados e sua interpretação.

Na sequência, serão abordados os diversos métodos aplicados para o tratamento dos dados de chuva e alguns métodos para o seu tratamento estatístico, além da extrapolação destes para diferentes tempos de concentração e de recorrência.

Sobre estes tempos, também serão apresentados seus conceitos, bem como os principais métodos empregados para o cálculo do tempo de concentração, além dos parâmetros envolvidos nas equações e limites de aplicabilidade de cada um deles.

2. PLUVIOMETRIA

Quando se avalia a distribuição das chuvas em diferentes épocas e regiões, é comum se usar o termo pluviosidade e é por meio do índice pluviométrico que se mede a quantidade de chuva numa região e dentro de um determinado intervalo de tempo.

Tal medição pode ser efetuada por instrumentos conhecidos como pluviômetros e pluviógrafos.

2.1. PLUVIÔMETRO

É o instrumento usado para medir a quantidade de chuva caída em determinado lugar e em determinado tempo e um dos modelos mais usuais pode ser visualizado na figura 2.1.

O pluviômetro coleta e mede a chuva captada em milímetros (mm). Existem muitos tipos de pluviômetros, mas eles se classificam basicamente em três tipos:

- Pluviômetro convencional (manual): armazena a quantidade de chuva e a medição é feita e anotada manualmente;
- Pluviômetro semiautomático: mede e armazena a informação sobre a quantidade de chuva e a leitura é feita por meio de um painel digital;
- Pluviômetro automático: mede, armazena e transmite automaticamente a informação sobre a quantidade de chuva.



Figura 2.1 – Modelo de pluviômetro convencional.

As medidas nos pluviômetros, com destaque para os modelos manuais, são realizadas de forma periódica, geralmente em intervalos de 24 horas, com as leituras ocorrendo normalmente às 7h da manhã.

TOME NOTA

vídeo mostrando os tipos e funcionamento de um pluviômetro (<https://www.youtube.com/watch?v=Z0ISxYsIJKs>)

2.2. PLUVIÓGRAFO

É o instrumento que registra a quantidade, duração e intensidade da chuva caída em determinado lugar. Para fins de ilustração, apresenta-se a figura 2.2 com um modelo de pluviógrafo.



Figura 2.2 – Modelo de pluviôgrafo flutuador.

Dentre os modelos mais utilizados em nosso país estão o pluviôgrafo flutuador, o pluviôgrafo de peso e o pluviôgrafo de caçambas basculantes.

O resultado da informação coletada por este aparelho corresponde a um gráfico chamado pluviograma. Em tal gráfico, pode-se ler o tempo no eixo das abscissas e a altura de precipitação no eixo das coordenadas, como pode ser visualizado na figura 2.3.

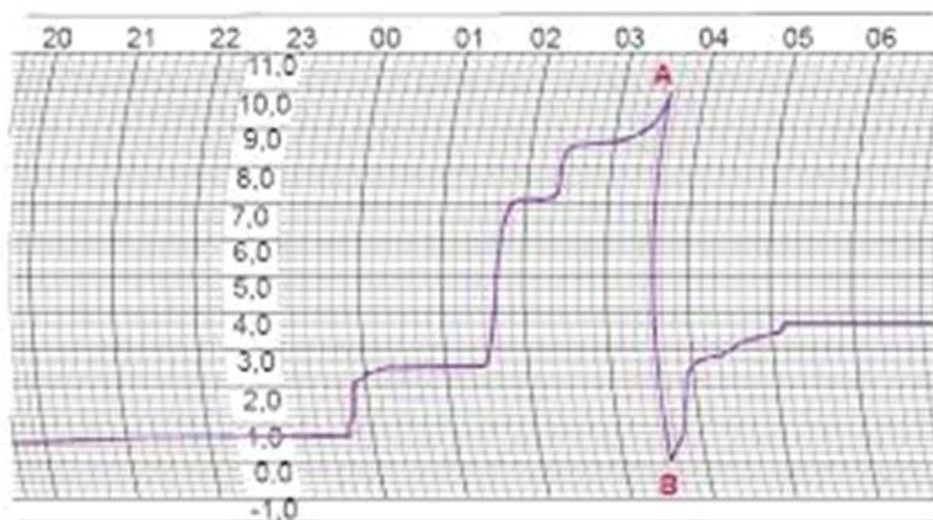


Figura 2.3 – Modelo de pluviograma.

A diferença básica entre estes dois equipamentos consiste, portanto, no fato do primeiro medir apenas a quantidade de chuva, normalmente registrada em “mm”, enquanto o segundo registra também a duração da chuva, sendo normalmente expressa em “mm/h”.

Quando a medida é apenas quantitativa, emprega-se o termo precipitação pluviométrica ou altura pluviométrica, ao passo que, quando a medida também está associada ao tempo, dando uma noção qualitativa, emprega-se o termo intensidade pluviométrica.

Deste modo, a altura pluviométrica corresponde a uma lâmina d'água precipitada sobre uma área. Quando é dito, por exemplo, que choveu 10 mm em um dia, isso significa que um volume correspondente a 10 litros d'água caiu sobre uma área de 1 m², ou seja, que se formou uma coluna d'água de 10 mm de altura sobre uma área correspondente a 1 m².

TOME NOTA

Para maiores informações sobre precipitações, mapas interativos e dados de chuva, recomenda-se consultar o site do **Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN** (<http://www2.cemaden.gov.br/categoria/pluviometros/>), do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (<https://portal.inmet.gov.br/>) e da Agência Nacional de Águas- ANA (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>).

3. OBTENÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS DE CHUVA

Como visto no capítulo anterior, as medidas relacionadas à pluviosidade são normalmente aferidas por meio de aparelhos conhecidos como pluviômetros e pluviógrafos.

No Brasil há diversas instituições que realizam estas medições e as disponibilizam por meio de suas home pages.

Assim, ao efetuar a consulta para os dados de seu interesse, o projetista teria de escolher uma estação de medição e processar ou tratar seus dados por diferentes métodos disponíveis.

Em outros casos, pode-se obter diretamente os valores de pluviometria e de intensidade a partir de métodos já consagrados e disponíveis em diferentes bibliografias ou publicações, como é o caso da metodologia de Otto Pfafstetter.

Vale destacar que o próprio Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem do DNIT (BRASIL, 2005), em sua seção 6.3, destaca que "quando não há dados pluviográficos nas proximidades do local da obra, deve-se recorrer a dados bibliográficos, entre os quais destaca-se o livro "Chuvvas Intensas do Brasil", do Engº. Otto Pfafstetter.

Apesar desta expressa recomendação, é conveniente que o engenheiro projetista avalie o segmento de interesse com base em todos os dados disponíveis, sejam provenientes de bibliografias ou publicações, seja coletando e processando os dados de pluviosidade diretamente de estações hidrológicas, comparando os dados e adotando àqueles que melhor representam o comportamento da região ou que ofereçam maior segurança.

3.1. OTTO PFAFSTETTER

O método é o resultado da compilação dos registros pluviográficos em 98 postos do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura, contido na obra do Engenheiro Otto Pfafstetter - "Chuvas Intensas no Brasil", Ministério da Viação e Obras Públicas - DNOS, 1957.

3.1.1. COLETA DOS DADOS

Para a coleta de dados das chuvas intensas foram consultados os registros pluviográficos disponíveis no arquivo do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura. Estes registros pluviográficos se apresentam em folhas, cujo comprimento e altura correspondem a 24 horas de observação e a 10 mm de precipitação, respectivamente. Na graduação horizontal é possível apreciar intervalos de tempo de 5 minutos e na vertical as precipitações com aproximação de 0,1 mm.

Desses gráficos se retirou o valor das precipitações nas partes mais intensas de cada chuva, registradas em intervalos de 5 min, 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h, 14 h, 24 h e 48 h, intervalos que definem a duração das precipitações correspondentes.

Para achar a parte mais intensa da chuva, procurou-se a parte mais inclinada da curva registrada ou o trecho da curva, que apresenta a maior diferença de precipitação para a duração considerada. O início ou o fim da parte intensa da chuva não coincidia necessariamente para as diversas durações.

As durações de 5 min a 48 h, para as quais foram anotadas as precipitações máximas, foram aproximadamente uma progressão geométrica de razão 2, permitindo-se unir com facilidade por uma curva os resultados marcados em papel de graduação logarítmica. O limite mínimo de 5 min representa o menor intervalo que se pode ler com precisão adequada nos registros pluviográficos. O limite máximo foi fixado em 48 h, pois para durações maiores se podem usar dados pluviométricos com mais facilidade e suficiente precisão. A duração de 14 h representa a média de 16 h e 12 h, que se obtém partindo-se respectivamente

com a progressão de razão 2 das durações de 1 h e 24 h, que devem ser mantidas por conveniência. A razão 3, entre as durações de 5 min e 15 min, não prejudica a definição da curva nesta parte.

Foram anotadas somente as precipitações máximas com 5 min, 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, 8 h, 14 h, 24 h e 48 h de duração que excederam as alturas de 8 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm, 47 mm, 55 mm e 70 mm respectivamente, para estes intervalos de tempo.

Tais limites mínimos das precipitações anotadas foram escolhidas de modo que, em cada posto e para cada duração, se tivesse na média aproximadamente 3 chuvas por ano de observação. Como em geral as chuvas intensas não representam precipitações que excedam, para todas as durações, os limites mínimos fixados, foram anotados na média, aproximadamente 10 chuvas por ano de observação em cada posto.

Uma chuva pode ser considerada como intensa desde que, para qualquer duração, ocorre uma precipitação superior aos limites acima estabelecidos.

A fim de completar o estudo das chuvas para durações entre 2 e 6 dias, coletaram-se dados pluviométricos dos mesmos postos os quais foi feita a análise dos registros pluviográficos. Serviram de fonte de informação os livros dos Serviços de Meteorologia, que forneciam as precipitações totais, observadas em 1, 2, 3, 4 e 6 dias consecutivos, cujas alturas excedeu em geral os limites de 60 mm, 80 mm, 100 mm, 120 mm e 150 mm respectivamente, para estes intervalos de tempo. Estes limites mínimos foram fixados de modo a se anotar na média aproximadamente 2 precipitações por ano em cada posto para 1, 2 e 3 dias de duração e cerca de 1 precipitação por ano para durações de 4 e 6 dias. Em alguns postos foi necessário modificar os limites mínimos das precipitações anotadas, para dispor de um número adequado de observações.

3.1.2. ANÁLISE DA FREQUÊNCIA

Para a análise da frequência das chuvas intensas de um posto colocaram-se as precipitações anotadas para cada duração em ordem decrescente. Para isto foram usadas folhas adequadas (stencil nº 7428) que se encontravam arquivadas no Departamento Nacional de Obras de Saneamento. Para fins de exemplificação, apresenta-se a figura 3.1 com uma destas folhas.

QUADRO III

MINISTÉRIO DA VIAÇÃO E OBRAS PÚBLICAS
DEPARTAMENTO NACIONAL DE OBRAS DE SANEAMENTO
FREQÜÊNCIA DE CHUVAS INTENSAS

Local: Vassouras — Rio de Janeiro
Períodos: 1-1-1921 à 3-1-1956
Tempo de observação (n anos) 26,246

Estação _____

Duração 2 horas

Número de ordem — m	Precipitações P (mm)	Tempo de recorrência $T = \frac{n}{m}$ anos	Número de ordem — m	Precipitações P (mm)	Tempo de recorrência $T = \frac{n}{m}$ anos	Número de ordem — m	Precipitações P (mm)	Tempo de recorrência $T = \frac{n}{m}$ anos
1	71,8	26,246	31	41,2	0,847	61	33,0	0,430
2	70,0	13,123	32	41,0	0,820	62	32,7	0,423
3	61,5	8,749	33	40,4	0,795	63	32,7	0,417
4	61,2	6,562	34	40,2	0,772	64	32,7	0,410
5	57,6	5,249	35	39,6	0,750	65	32,6	0,404
6	56,3	4,374	36	39,4	0,730	66	32,6	0,398
7	55,3	3,749	37	39,3	0,709	67	32,6	0,392
8	55,3	3,281	38	38,4	0,691	68	32,5	0,386
9	53,3	2,916	39	38,1	0,673	69	32,4	0,380
10	52,6	2,625	40	38,0	0,656	70	32,4	0,375
11	52,5	2,386	41	37,8	0,640	71	31,5	0,370
12	51,4	2,187	42	37,8	0,625	72	31,4	0,365
13	49,9	2,019	43	37,8	0,610	73	31,0	0,360
14	49,9	1,875	44	37,4	0,597	74	30,9	0,355
15	49,7	1,750	45	36,7	0,583	75	30,6	0,350
16	48,9	1,640	46	36,2	0,571	76	30,6	0,345
17	46,8	1,544	47	35,7	0,558	77	30,4	0,341
18	46,5	1,458	48	35,4	0,547	78	30,3	0,337
19	46,5	1,381	49	34,9	0,536	79	30,3	0,332
20	46,3	1,312	50	34,7	0,525	80	30,1	0,328
21	45,5	1,250	51	34,5	0,515	81	30,0	0,324
22	45,0	1,193	52	34,4	0,505			
23	44,3	1,141	53	34,2	0,495			
24	43,8	1,094	54	34,2	0,486			
25	43,4	1,050	55	34,0	0,477			
26	43,0	1,009	56	33,8	0,469			
27	42,6	0,972	57	33,2	0,460			
28	41,9	0,937	58	33,2	0,453			
29	41,8	0,905	59	33,1	0,445			
30	41,4	0,875	60	33,0	0,437			

Data: 4/5/1956

Assinatura: NEWTON CORDEIRO

(Stencil N.º 7428)

Figura 3.1 – Precipitações para a estação Vassouras, no estado do Rio de Janeiro. (Fonte: DNOS, 1957)

Para facilitar a disposição em ordem decrescente, as precipitações foram escritas primeiro em um rascunho, classificadas em grupos. Depois era fácil reordenar as precipitações de cada grupo para figurarem nas folhas definitivas.

Para não haver perigo de falhar alguma precipitação, contava-se o número total delas tanto no registro primitivo como nas folhas finais.

No alto da folha, anotou-se o período total de observações no posto, descontado de todas as interrupções. Este período é em geral diferente para as observações pluviográficas e as pluviométricas.

Como os aparelhos registradores estão sujeitos a desarranjos, de preferência na ocasião das chuvas mais intensas, aparecem erros sistemáticos nas análises de frequência, em geral pequenos, e que não foi possível eliminar.

Na última coluna das folhas de análise de frequência, figura o tempo de recorrência das precipitações, definido pela seguinte relação:

$$T = n / m, \text{ onde:}$$

T = tempo de recorrência, em anos;

n = número de anos de observação;

m = número de ordem das precipitações, numa série disposta em ordem decrescente.

Esta definição do tempo de recorrência faz uso do Método Californiano e foi escolhida por ser a mais simples e suficientemente precisa.

Nas previsões das chuvas intensas, o tempo de recorrência correspondente ao número médio de anos em que uma dada precipitação será igualada ou excedida.

Em outras palavras, supõe-se que se mantenham no futuro as condições meteorológicas que existiram num posto durante o período de observação, a precipitação de duração dada e tempo de recorrência T, terá probabilidade de máxima de ser igualada ou excedida "n/T" vezes em "n" anos.

Isto não significa que as precipitações de tempo de recorrência "T" vão ocorrer em intervalos regulares de "T" anos. É possível, apesar de pouco provável, que as precipitações com tempo de recorrência muito grande ocorram duas vezes seguidas num espaço de tempo relativamente curto. Uma precipitação de recorrência muito grande pode ocorrer em qualquer época, independente da extensão e do início do período considerado.

Quanto maior o número de anos de observação, comparado com o tempo de recorrência da precipitação, tanto menor será a probabilidade de haver certa divergência entre o número n/T e precipitações iguais ou maiores previstas e as realmente observadas. Para valores da relação n/T superiores a 5, a diferença entre os tempos de recorrência previstos e observados costuma ser desprezível na prática. Isto mostra a grande vantagem de dispor de um longo período de observações de chuvas.

3.1.3. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

As chuvas intensas de um posto podem ser expressas por uma função de três variáveis: precipitação, duração e tempo de recorrência. Em coordenadas cartesianas tri retangulares, esta função define uma superfície. As interseções desta superfície com planos paralelos aos eixos das precipitações e dos tempos de recorrência dão curvas que foram escolhidas nesta publicação para a representação gráfica dos dados de chuvas intensas.

Assim se fez, para cada posto, a representação gráfica das precipitações para diversas durações em função dos tempos de recorrência. As durações das precipitações figuram como parâmetros constantes de cada curva. Ficam assim representadas graficamente todos os elementos das curvas intensas, das quais se faz a coleta de dados.

A representação gráfica foi feita em folhas com graduação bi logarítmica. No eixo das abscissas marcaram-se os tempos de recorrência e no das ordenadas, as precipitações. As coordenadas de cada ponto são dadas pelo par de valores, que figuram nas duas últimas colunas das folhas de análise de frequência. Os

pontos marcados foram ligados por uma linha poligonal contínua. Só foram marcadas as precipitações com tempo de recorrência superior a 0,25 anos.

As folhas com as representações gráficas podem ser consultadas entre as folhas 33 e 386 da publicação original. Cada posto é identificado pela cidade ou local e estado onde está instalado. A figura 3.2 fornece a relação dos postos, em ordem alfabética, além das coordenadas geográficas dos postos e o número de anos de observação.

Q U A D R O I V

RELAÇÃO DOS POSTOS COM SUAS COORDENADAS GEOGRÁFICAS E PERÍODOS DE OBSERVAÇÃO

Postos	Coordenadas Geográficas		Períodos de Observação (anos)	
	L. S.	L. W. G.	Pluviógrafo	Pluviômetro
1 — Alegrete Rio Grande do Sul	29°46'	55°47'	16,956	25,365
2 — Alto Itatiaia Rio de Janeiro	22°25'	44°50'	24,833	26,000
3 — Alto Tapajós Pará	7°21'	57°31'	21,000	22,333
4 — Alto Terezópolis Rio de Janeiro	22°26'	42°55'	3,849	7,660
5 — Aracaju Sergipe	10°55'	37°04'	24,848	24,750
6 — Avaré São Paulo	23°06'	48°55'	9,973	9,000
7 — Bagé Rio Grande do Sul	31°20'	54°05'	17,580	38,622
8 — Bangú Distrito Federal	22°52'	43°27'	20,516	23,552
9 — Barbacena Minas Gerais	21°15'	43°46'	12,693	32,584
10 — Barra do Corda Maranhão	5°30'	45°16'	20,773	26,915
11 — Bauru São Paulo	22°19'	49°04'	9,350	9,437
12 — Belém Pará	1°28'	48°27'	19,836	25,589
13 — Belo Horizonte Minas Gerais	19°56'	43°57'	12,758	30,875
14 — Blumenau Santa Catarina	26°55'	49°03'	17,685	24,272

Figura 3.2 – Relação dos postos com suas coordenadas geográficas e períodos de observação. (Fonte: DNOS, 1957).

3.1.4. AJUSTAMENTO DE FÓRMULAS EMPÍRICAS

Entre os pontos marcados nos gráficos que representam os dados de chuvas intensas, procurou-se ajustar uma curva regular de conhecida definição analítica.

A fórmula empírica escolhida para definir as precipitações máximas em função da duração e do tempo de concentração possui a seguinte notação:

$$P = K * [a * t + b * \log(1 + c * t)], \text{ sendo:}$$

P = precipitação máxima em mm;

T = tempo de recorrência em anos;

t = duração da precipitação em horas;

K = fator de probabilidade, função do período de recorrência, da duração da precipitação e da localidade;

a, b, c = constantes específicas de cada posto pluviográfico.

$$k = T^{(\alpha + \frac{\beta}{T^{0,25}})}, \text{ sendo:}$$

T = tempo de recorrência em anos;

α = valor que depende da precipitação e igualdade para todos os postos (figura 3.3);

β = valor que depende da duração da precipitação e específico para cada posto (figura 3.4).

Duração	5 min	15min	30min	1 h	2 h	4 h	8 h	14 h	24 h	48 h	3 d	4 d	6 d
α	0,108	0,122	0,138	0,156	0,166	0,174	0,176	0,174	0,170	0,166	0,160	0,156	0,152

Figura 3.3 – Valores de α na metodologia de Otto Pfafstetter.

(Fonte: JABÔR, 2019).

UF	LOCAL	a	b	c	VALORES DE β			
					5 min.	15 min.	30 min.	> 1h
AC	Rio Branco	0,3	31	20	- 0,08	0,00	0,04	0,08
	Sena Madureira	0,2	30	20	0,00	0,04	0,08	0,04
AL	Maceió	0,5	29	10	0,00	0,04	0,08	0,20
AM	Juaretê	0,2	37	20	0,04	0,00	0,00	0,00
	Manaus	0,1	33	20	0,04	0,00	0,00	0,00
	Parintins	0,6	30	20	0,04	0,04	0,04	0,08
	Urupês	0,2	36	20	0,08	0,04	0,04	0,04
BA	Salvador	0,6	33	10	-0,04	0,08	0,08	0,12
CE	Fortaleza	0,2	36	20	0,04	0,04	0,08	0,08
	Guaramiranga	0,5	22	20	-0,04	0,04	0,08	0,08
	Quixeramobim	0,2	17	60	-0,08	0,04	0,08	0,12
ES	Vitória	0,3	34	10	0,12	0,12	0,12	0,12
FN	Fernando de Noronha	0,7	23	20	-0,08	0,04	0,12	0,12
GO	Catalão	0,5	27	20	0,04	0,04	0,04	0,04
	Formosa	0,5	27	20	0,08	0,08	0,08	0,04
	Goiânia	0,2	30	20	0,08	0,08	0,08	0,12
MA	Barra da Corda	0,1	28	20	-0,08	0,04	0,08	0,12
	São Luiz	0,4	42	10	-0,08	0,00	0,00	0,08
	Turiassu	0,6	30	20	0,04	0,04	0,04	0,04
MG	Barbacena	0,5	18	60	0,12	0,12	0,08	0,04
	Belo Horizonte	0,6	26	20	0,12	0,12	0,12	0,04
	Bonsucesso	0,8	18	60	0,04	0,04	0,04	0,04
	Caxambú	0,5	23	20	0,08	0,08	0,08	0,08
	Ouro Preto	0,6	23	20	0,00	0,12	0,12	0,04
	Paracatu	1,2	43	10	-0,04	0,00	0,04	0,12
	Passa Quatro	0,7	21	20	0,04	0,04	0,04	0,08
	Sete Lagoas	0,4	27	20	0,08	0,08	0,08	0,08
	Teófilo Otoni	0,4	24	20	0,00	0,08	0,08	0,08
MS	Corumbá	0,0	30	20	-0,04	0,12	0,12	0,16

Figura 3.4 – Valores de β na metodologia de Otto Pfafstetter. (Fonte: JABÔR, 2019).

UF	LOCAL	a	b	c	5 min.	15 min.	30 min.	> 1h
MT	Cuiabá	0,1	30	20	0,08	0,08	0,08	0,04
PA	Alto Tapajós	0,4	35	20	0,08	0,04	0,04	0,04
	Belém	0,4	31	20	-0,04	0,00	0,00	0,04
	Soure	0,7	46	10	0,00	0,00	0,04	0,08
	Taperinha	0,3	32	20	0,08	0,08	0,04	0,04
PB	João Pessoa	0,6	33	10	0,00	0,00	0,04	0,08
	São Gonçalo	0,4	29	20	-0,08	0,08	0,12	0,16
PI	Terezina	0,2	33	20	0,12	0,12	0,12	0,12
PE	Nazaré	0,4	20	20	-0,04	0,04	0,08	0,08
	Olinda	0,5	35	10	0,04	0,20	0,20	0,20
PR	Curitiba	0,2	25	20	0,16	0,16	0,16	0,08
	Jacarezinho	0,3	25	20	-0,08	0,08	0,12	0,08
	Paranaguá	0,3	42	10	0,04	0,12	0,12	0,16
	Ponta Grossa	0,3	20	20	-0,08	0,08	0,08	0,04
RJ	Alto Itatiaia	0,7	26	20	0,08	0,08	0,08	0,08
	Alto Teresópolis	0,8	41	10	0,00	0,08	0,08	0,08
	Cabo Frio	0,2	20	20	0,16	0,20	0,20	0,12
	Campos	0,2	27	20	0,12	0,12	0,12	0,08
	Niterói	0,2	27	20	0,08	0,12	0,12	0,12
	Nova Friburgo	0,4	28	20	-0,08	0,08	0,08	0,08
	Petrópolis	0,3	41	10	-0,08	0,12	0,12	0,08
	Pinheiral	0,4	19	60	0,08	0,12	0,16	0,04
	Pres. Dutra (Km 47)	0,3	28	20	0,00	0,08	0,16	0,20
	Resende	0,3	31	20	0,04	0,08	0,08	0,08
	Rio de Janeiro:							
	Bangu	0,1	30	20	0,00	0,12	0,12	0,12
	Ipanema	0,0	35	10	-0,04	0,12	0,12	0,20
	Jacarepaguá	0,2	29	20	-0,08	0,08	0,12	0,12
	Jardim Botânico	0,4	39	10	-0,08	0,08	0,12	0,12
	Praça XV	0,2	27	20	0,00	0,20	0,20	0,20
	Praça Saens Peña	0,2	31	20	-0,04	0,12	0,16	0,16
	Santa Cruz	0,4	26	20	0,00	0,08	0,08	0,16
	Sta. Maria Madalena	0,4	24	20	-0,08	0,04	0,04	0,00
Teresópolis	0,3	36	10	0,08	0,08	0,04	0,12	
Vassouras	0,4	19	20	0,08	0,08	0,08	0,08	
Volta Redonda	0,2	30	20	0,12	0,12	0,12	0,12	

Figura 3.4 – Valores de β na metodologia de Otto Pfafstetter - Continuação.
(Fonte: JABÖR, 2019).

UF	LOCAL	a	b	c	5 min.	15 min.	30 min.	>1h
RN	Natal	0,7	23	20	-0,08	0,08	0,08	0,12
RO	Porto Velho	0,3	35	20	0,00	0,00	0,00	0,04
RS	Alegrete	0,3	33	20	0,16	0,12	0,12	0,08
	Bagé	0,5	23	20	0,08	0,08	0,08	0,08
	Caxias do Sul	0,5	23	20	0,00	0,08	0,08	0,08
	Cruz Alta	0,5	33	20	0,12	0,08	0,08	0,04
	Encruzilhada	0,8	22	20	0,04	0,08	0,08	0,08
	Iraí	0,5	27	20	0,08	0,08	0,00	0,08
	Passo Fundo	0,7	21	20	-0,04	0,04	0,04	0,08
	Porto Alegre	0,4	22	20	0,00	0,08	0,08	0,08
	Rio Grande	0,3	24	20	0,00	0,20	0,20	0,12
	Santa Maria	0,4	37	10	-0,08	0,04	0,04	0,08
	Sta. Vitória do Palmar	0,4	24	20	-0,08	0,12	0,12	0,12
	São Luiz Gonzaga	0,5	30	20	0,08	0,08	0,12	0,08
	Uruguaiana	0,2	38	10	-0,04	0,08	0,08	0,12
	Viamão	0,4	21	20	-0,04	0,04	0,04	0,04
SE	Aracajú	0,6	24	20	0,00	0,04	0,08	0,20
SC	Blumenau	0,2	24	20	-0,08	0,08	0,08	0,08
	Florianópolis	0,3	33	10	-0,04	0,12	0,20	0,20
	São Francisco do Sul	0,3	37	10	0,00	0,08	0,08	0,16
SP	Avaré	0,3	25	20	0,00	0,04	0,08	0,08
	Bauru	0,5	24	20	-0,04	0,08	0,08	0,08
	Campos do Jordão	0,2	32	20	-0,04	0,08	0,12	0,12
	Congonhas	0,6	16	60	-0,04	0,04	0,04	0,04
	Lins	0,4	19	20	0,00	0,04	0,08	0,04
	Mirante Santana	0,4	25	20	-0,04	0,12	0,12	0,04
	Piracicaba	0,3	25	20	-0,08	0,04	0,12	0,08
	Santos - Itapema	0,2	50	20	0,12	0,20	0,20	0,12
	Santos	0,7	44	10	0,12	0,12	0,16	0,20
	São Carlos	0,4	29	20	-0,04	0,08	0,08	0,12
	São Simão	0,4	26	20	0,00	0,04	0,08	0,08
	Taubaté	0,3	24	20	0,12	0,12	0,12	0,16
	Tupí	0,3	18	60	-0,08	0,12	0,12	0,04
Ubatuba	0,3	46	10	-0,04	0,16	0,16	0,16	

Figura 3.4 – Valores de β na metodologia de Otto Pfafstetter - Continuação.
(Fonte: JABÖR, 2019).

3.2. ISOZONAS

A determinação das relações precipitação/descarga em projetos de pequenas barragens e de outras obras de drenagem, como aquelas associadas a rodovias e ferrovias, requer o conhecimento das alturas de precipitação para períodos, às vezes, inferiores a 24 horas.

Infelizmente, a rede de estações pluviográficas capazes de proporcionar estes dados é relativamente pequena, o que obriga os projetistas a extrapolações a partir de postos pluviográficos distantes da área de interesse, ignorando-se os dados dos postos aludidos são representativos para as bacias do projeto e desconhecendo-se a eventual existência de microclima em algumas delas.

Entretanto, a existência de um número relativamente bem maior de estações pluviométricas, com registros de precipitações diárias, sugere a possibilidade de desenvolvimento de metodologias que correlacionem os dados dos postos pluviométricos com os dos postos pluviográficos e permitam deduzir, de forma simples, as precipitações para períodos inferiores a 24 horas.

Assim, torna-se possível maior utilização de informação disponível (pluviográficas e pluviométricas) possibilitando calcular, com razoável aproximação, as precipitações de projeto, inclusive para áreas afetadas por microclimas.

Ao desenhar, em um papel de probabilidades de Hershifild e Wilson, as precipitações de 24 horas e 1 hora de diferentes estações pluviográficas do Brasil, observou-se que, prolongando-se as respectivas retas de altura de precipitação/duração, estas tendem a cortar o eixo das abcissas em um mesmo ponto, para determinadas áreas geográficas (TORRICO, 1975).

Esta tendência significa que, em cada área homóloga, a relação entre as precipitações de 1 hora e 24 horas, para um mesmo tempo de recorrência, é constante e independe das alturas de precipitação. A estas áreas de comportamento homólogo foi dado o nome de isozona e seu mapa pode ser visualizado na figura 3.5.

Construiu-se o mapa de isozonas relacionando as alturas de precipitação máxima anual de 1 hora com a máxima anual de 24 horas, para cada posto pluviográfico (que correspondem as mesmas 98 estações utilizadas por Otto Pfafstetter).

Uma análise sumária do mapa de isozonas do Brasil revela as seguintes características:

- Isozonas B e C: tipificam a zona de influência marítima, com coeficientes de intensidade suaves;
- Isozonas E e F: tipificam as zonas continental e do Nordeste, com coeficientes de intensidade altos;
- Isozona D: tipifica a zona de transição entre continental e marítima. Esta isozona se prolonga, caracterizando a zona de influência do Rio Amazonas;
- Isozonas G e H: tipificam a zona da caatinga nordestina, com coeficientes de intensidade muito altos;
- Isozona: A coincide com a zona de maior precipitação anual do Brasil, com coeficientes de intensidade baixos.

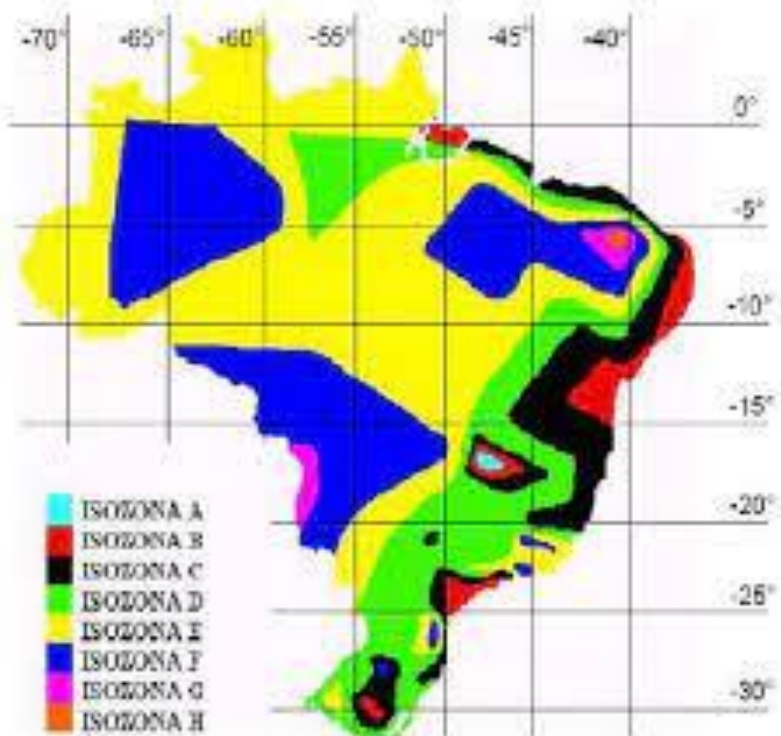


Figura 3.4 – Mapa de isozonas do Brasil.

3.2.1. RELAÇÃO 24 HORAS / 1 DIA

Para correlacionar as precipitações nas estações pluviométricas com as isozonas, deduzidas das estações pluviográficas, determinou-se a relação 24 horas / 1 hora para o tempo de recorrência base de 1 ano. O coeficiente é de 1,095, com o desvio padrão de $\pm 6,6 \%$.

O tempo de recorrência nesta relação não tem influência prática, porque a precipitação de 1 dia equivale a uma duração média de 15 horas e 50 minutos, para um tempo de recorrência de 1 ano, e a 16 horas e 10 minutos, para 10.000 anos de tempo de recorrência (+0,1 % de influência nas alturas de precipitação).

TOME NOTA

O Manual de Hidrologia Básica do DNIT sugere um coeficiente de valor 1,13 para transformar a precipitação de 1 dia em precipitação de 24 horas.

3.2.2. RELAÇÃO 1 HORA / 24 HORAS

A figura 3.5 identifica zonas de igual relação, 1 hora / 24 horas de altura de precipitação, para diferentes tempos de recorrência. Assim, para transformar a chuva de 24 horas, obtida conforme orientação da seção anterior, em chuva de 1 hora, basta multiplicá-la pelos percentuais indicados na figura 3.5.

Zonas		Tempo de recorrência (anos)											
		1 hora / 24 horas										6"/ 24 h	
		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		40,2	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

Figura 3.5 – Isozonas de igual relação. (Fonte: TORRICO, 1975).

Os valores médios de cada uma das isozonas, para tempo de recorrência base de 1 ano, são:

- Isozona A: 37 % de 24 horas;
- Isozona B: 39 % de 24 horas;

- Isozona C: 41 % de 24 horas;
- Isozona D: 43 % de 24 horas;
- Isozona E: 45 % de 24 horas;
- Isozona F: 47 % de 24 horas;
- Isozona G: 49 % de 24 horas;
- Isozona H: 51 % de 24 horas.

3.2.3. RELAÇÃO 6 MINUTOS / 1 HORA

A tabela anterior também identifica, para cada uma das isozonas, a relação 6 minutos / 24 horas de alturas de precipitação, para tempos de recorrência entre 5 e 50 anos.

Os erros que se cometem ao tomar a média dos tempos de recorrência de 5 a 50 anos são praticamente desprezíveis, como se demonstra: -1 % para 5 anos; 0 % para 15 anos; +1 % para 50 anos.

3.2.4. METODOLOGIA

O uso da metodologia das izosonas exige a adoção da seguinte sequência metodológica:

- Compilam-se os dados das máximas chuvas diárias, para cada ano, dos postos pluviométricos da região do projeto.

Os projetos que abrangem regiões muito extensas, com climas diferentes, ou que contenham microclimas, deverão ser divididos em sub-regiões.

- Calcula-se, para cada posto, por qualquer método estatístico (sendo o método de GUMBEL, um dos mais utilizados) a chuva de 1 dia, no tempo de recorrência previsto.

- Determina-se, no mapa do projeto, com o método de Thiessen, a média ponderada das máximas chuvas diárias de cada ponto, para o tempo de recorrência previsto.

Esta é a metodologia normalmente empregada para a determinação da média das máximas chuvas diárias.

Para a conversão das máximas chuvas diárias em chuvas com duração de 6 minutos e 24 horas, segue-se a seguinte metodologia:

- Converte-se a chuva de 1 dia em chuva de 24 horas, multiplicando-se a primeira pelo fator 1,095.
- Determina-se, por meio da figura 3.4, a isozona correspondente ao projeto;
- Com base na figura 3.5, fixam-se, para a isozona de projeto e tempo de recorrência previsto, as percentagens para 6 minutos e 1 hora;
- Calculam-se, com estas percentagens e chuva de 24 horas, as alturas de precipitação para 6 minutos e 1 hora;
- Delimitam-se, como a exemplo do gráfico mostrado na figura 3.6, as alturas de precipitação para 24 horas, 1 hora e 6 minutos de duração;
- Traçam-se as retas das precipitações de 6 minutos para 1 hora desta para 24 horas, no papel de probabilidade;
- Para calcular tempo de duração contida entre 6 minutos e 24 horas, lê-se a altura correspondente no gráfico do papel de probabilidade mostrada na mesma figura a pouco citada.

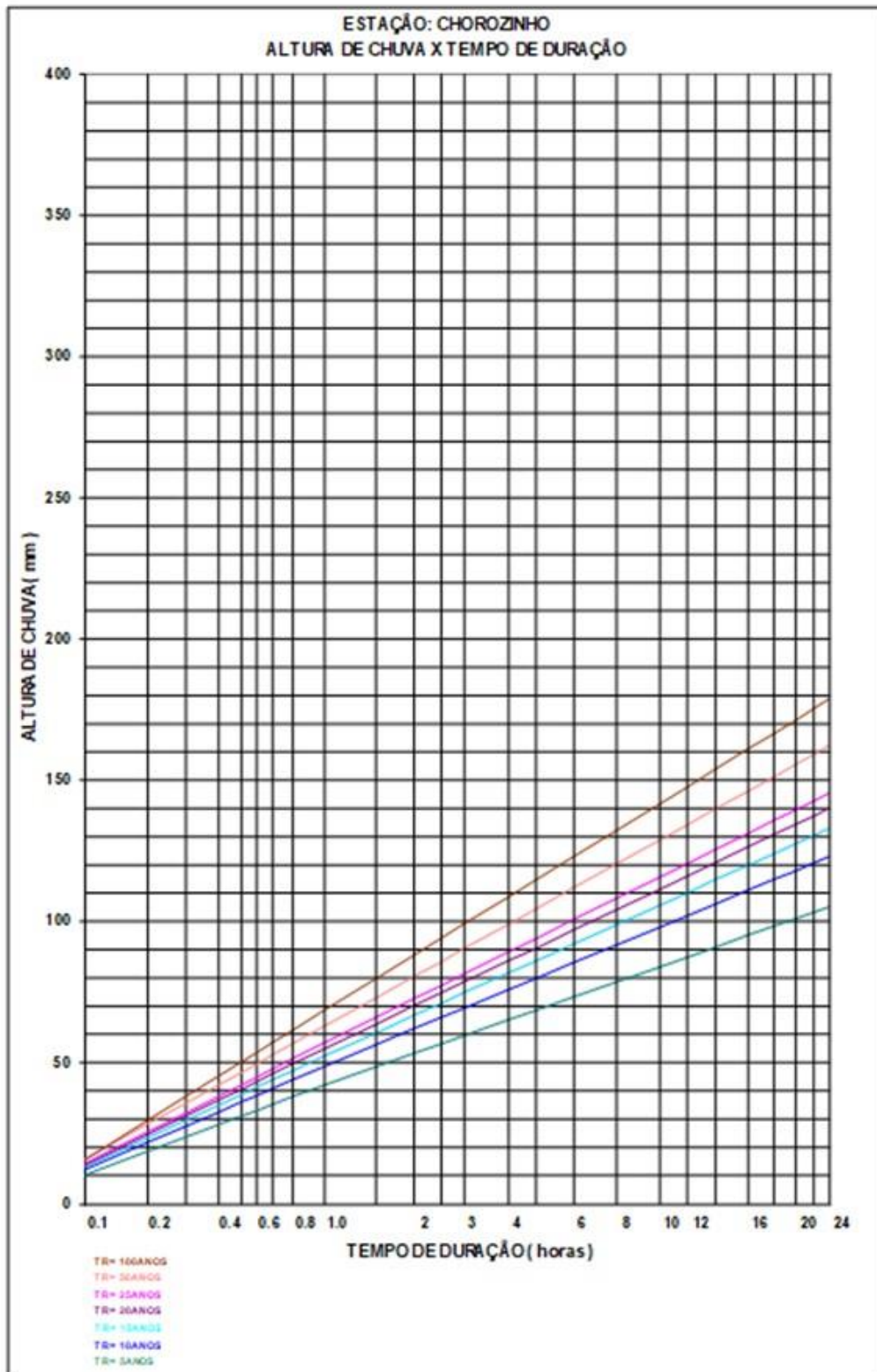


Figura 3.6 – Curvas de precipitação x duração x frequência no papel de probabilidade de Hershifeld e Wilson.

3.3. EQUAÇÕES DE CHUVAS (COPASA / DAEE)

Outra possibilidade que pode ser adotada pelo projetista para obter os valores de precipitação ou intensidade é utilizar-se das equações de chuva definidas para diversas cidades do país em diferentes publicações, a exemplo daquelas encontradas no trabalho da COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais) e do DAEE/SP (Departamento de Águas e Energia Elétrica), ou mesmo de outras publicações nacionais, a exemplo do Atlas Pluviométrico do Brasil (divulgado pela CPRM).

TOME NOTA

A seguir são disponibilizados alguns links para download de publicações nacionais com equações de chuvas em diferentes cidades do país.

- DAEE/SP: <http://www.dae.sp.gov.br/site/hidrologia/>
- CPRM/RIGeo: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/1269>
- COPASA/MG: Planilha Excel com equações de chuva (anexo ao módulo);
- DAEE/SP: Planilha Excel com equações de chuva (anexo ao módulo).

4. TEMPO DE RECORRÊNCIA E TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

4.1. TEMPO DE RECORRÊNCIA

O tempo de recorrência é o intervalo médio de tempo, normalmente expresso em anos, onde um dado evento pode ocorrer ou ser superado.

Quando se trata de estruturas hidráulicas, o termo pode ser compreendido como sendo o intervalo de tempo no qual uma determinada chuva, de intensidade e duração conhecidas, será igualada ou superada. Este tempo diz respeito a enchentes de projeto que orientarão o dimensionamento de tais estruturas, de modo que elas resistam a essas enchentes sem risco de superação.

A escolha do tempo de recorrência, ou do período de retorno, como também costuma ser chamado, está intimamente relacionada com parâmetros econômicos e de segurança.

Deste modo, uma obra de grandes dimensões e importância, cujo colapso possa trazer consequências severas e seu reparo exija vultosos investimentos, a citar como exemplo grandes barragens hidroelétricas, demandará um tempo de recorrência maior.

Por sua vez, uma galeria de águas pluviais exigiria tempo de recorrência menor, pois se trata de uma estrutura de menor dimensão e importância, cujo colapso traria danos de menores proporções e seu reparo exigiria um investimento menor.

Quando se avalia a escolha do tempo de recorrência em um projeto rodoviário está-se ponderando, na verdade, a grandeza da vazão de contribuição para as estruturas projetadas. Tal escolha deve resultar na adoção de um valor para o qual o risco de superação seja adequado à segurança da rodovia, aos danos causados e aos investimentos necessários para sua reparação.

Assim, um bueiro de rodovia com capacidade de vazão insuficiente pode causar a erosão dos taludes junto à boca de jusante, ruptura do aterro por transbordamento das águas, ou inundação de áreas a montante. No caso de canal ou galeria de drenagem urbana, estes danos serão mais sentidos, pois causam a interrupção do trânsito, mesmo temporariamente, e danos em imóveis residenciais ou nas mercadorias dos estabelecimentos comerciais.

No caso da insuficiência de vazão em seções de pontes, visto que abrangem cursos d'água com maior vazão, em geral os danos são muito significativos, podendo ocorrer a destruição da estrutura ou a ruptura dos aterros contíguos, proporcionando uma interrupção do tráfego, muito mais séria, exigindo obras de recomposição mais vultuosas e demoradas.

Para a fixação do tempo de recorrência da enchente em projetos deve-se ainda ser considerada uma folga entre o nível d'água previsto e algum ponto crítico característico, como um ponto baixo na estrada próximo ao local em análise e à face inferior da superestrutura. No caso de uma ponte, por exemplo, deve-se considerar uma folga de 1,00 m ou valores mais elevados no caso de águas navegáveis ou possibilidades de transportes por via líquida de troncos ou galhos.

Para o projeto de bueiros, é habitual considerar como limite o afogamento da galeria no interior da canalização, sendo permissível a elevação do nível d'água a montante, além da geratriz superior da obra, pelo fato de que a retenção temporária das águas a montante pode amortecer consideravelmente os picos de cheias, sem comprometer os taludes vizinhos.

O procedimento recomendado pela Instrução de Serviço IS-203 é o dimensionamento do bueiro para condições críticas de escoamento, para a vazão calculada com o tempo de recorrência de 15 ou 25 anos e a verificação do nível d'água a montante para a enchente de 25 ou 50 anos.

Já para o dimensionamento hidráulico das obras de arte especiais, a exemplo de pontilhões e pontes, que são estruturas localizadas que dificilmente permitem melhorias posteriores e que podem constituir um ponto de estrangulamento, é

mais conveniente a adoção de um período de retorno maior, sendo fixado 50 e 100 anos, respectivamente.

É importante destacar que o tempo de recorrência fixado por diferentes órgãos rodoviários pode variar para um mesmo tipo de dispositivo, bem como que os valores constantes na tabela 4.1 do módulo anterior referem-se às estruturas projetadas nas rodovias federais sob jurisdição do DNIT.

Para fins de exemplificação as tabelas 4.1 a 4.4 trazem os tempos de recorrência recomendados por diferentes órgãos rodoviários.

Tabela 4.1 – Tempos de recorrência recomendados pelo DNIT.

Tipo de obra	Tempo de recorrência – TR (anos)
Drenagem superficial	5 a 10
Drenagem profunda	10
Bueiro tubular	15 (canal)
	25 (orifício)
Bueiro celular	25 (canal)
	50 (orifício)
Pontilhão	50
Ponte	100

Fonte: BRASIL, 2006.

Tabela 4.2 – Tempos de recorrência recomendados pela AGTOP/GO

Tipo de obra	Tempo de recorrência – TR (anos)
Drenagem superficial	5
Bueiros de grotas	5
Bueiro ou galeria em bacias até 1 km ²	10 (canal)
	25 (orifício)
Bueiro ou galeria em bacias com 1 km ² < A ≤ 5 km ²	25 (canal)
	50 (orifício)
Bueiro ou galeria em bacias com 5 km ² < A ≤ 10 km ²	50
Pontes até 100 m	50
Pontes maiores que 100 m	100

Fonte: Manual Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário – ABTC.

Tabela 4.3 – Tempos de recorrência recomendados pelo DER/MG (Rodovias normais).

Tipo de obra	Tempo de recorrência – TR (anos)
Drenagem superficial	10
Drenagem profunda	1
Bueiro tubular/ drenagem de grotas	25 (orifício)
Bueiro celular/ drenagem de grotas	25 (canal)
	50 (orifício)
Bueiro celular	25 (canal)
	50 (orifício)
Pontes	50 e 100

Fonte: Manual Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário – ABTC.

Tabela 4.4 – Tempos de recorrência recomendados pelo DER/MG (Rodovias com baixo volume de tráfego).

Tipo de obra	Tempo de recorrência – TR (anos)
Drenagem superficial	10
Drenagem profunda	1
Bueiro tubular/ drenagem de grotas	15 (orifício)
Bueiro celular/ drenagem de grotas	25 (orifício)
Pontes	50

Fonte: Manual Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário – ABTC.

No entanto, o engenheiro projetista não deve considerar estes valores como absolutos ou imutáveis, haja vista que algumas peculiaridades ou condições de contorno em seu projeto podem exigir algum tipo de ajuste.

Para fins de exemplificação, pode-se citar que há uma gama de bueiros tubulares de grandes dimensões, fabricados com chapas metálicas ou polietileno de alta densidade, com capacidade de descarga igual ou superior aos bueiros celulares de concreto, podendo se adotar os mesmos tempos de recorrência para ambos os casos.

Da mesma maneira, se uma ponte está sendo projetada em um trecho rodoviário com um talvegue profundo e em terreno montanhoso, ou ainda num trecho rodoviário de acesso único a uma cidade e com volume médio de tráfego próximo aos 100.000 veículos/dia, pode-se sugerir um tempo de recorrência maior do que

aquele que poderia ser adotado para uma ponte inserida em região plana, com talvegue raso e dotada de uma rede viária provida de vários acessos terrestres, com volume médio diário de tráfego de aproximadamente 1.000 veículos/dia.

Assim, desde que justificado, os tempos de recorrência adotados em um dado projeto rodoviário podem diferir daqueles fixados na Instrução de Serviço IS-203.

O Manual de Hidrologia Básica do DNIT (BRASIL, 2005) traz alguns métodos de cálculo que permite a obtenção do tempo de recorrência relacionado a uma dada série histórica. Os métodos mais conhecidos são o de GUMBEL e o de HAZEN.

De acordo com este último autor, as descargas máximas anuais dos registros de um curso d'água distribuem-se, em uma representação logarítmica, segundo a distribuição de frequência normal de Gauss.

Com isto, a partir dos registros fluviométricos de um posto, pode-se organizar uma série de máximas anuais, dispondo-as em ordem decrescente, com seus respectivos números de ordem, a partir do qual são calculados os tempos de recorrência pela expressão seguinte:

$$TR = n / (m-0,5), \text{ onde:}$$

n = número de anos de observação;

m = número da ordem de grandeza.

TOME NOTA

A mesma metodologia pode ser aplicada para o cálculo do TR associado aos registros das estações pluviométricas.

4.2. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Em hidrologia, o tempo de concentração pode ser definido como o tempo necessário para uma gota d'água caminhar superficialmente do ponto mais distante da bacia de contribuição até sua exutória.

Pode ser definido também como o tempo de percurso em que o deflúvio leva para atingir o curso principal desde os pontos mais longínquos da bacia de

contribuição até o local onde se deseja definir a descarga, ou ainda, o intervalo de tempo entre o início da precipitação e o instante em que todos os pontos da bacia estão contribuindo para a vazão.

A determinação numérica do tempo de concentração depende primordialmente do comprimento do curso d'água principal e de sua declividade, embora alguns autores também expressem o tempo de concentração em função da área da bacia hidrográfica.

Normalmente considera-se que, nas pequenas bacias hidrográficas, com áreas até 1 km², o deflúvio superficial escoar em grande parte do seu percurso sobre o terreno, sem chegar aos canalículos ou pequenos cursos d'água e a velocidade de escoamento é fortemente influenciada pela rugosidade do terreno, por sua cobertura vegetal e pelos detritos sobre o solo.

Já nas bacias maiores, com áreas em torno de 10 km², por exemplo, o deflúvio superficial escoar na maior parte do tempo através de canais ou canalículos erodidos no solo pela própria passagem da água. Deste modo, a textura superficial do solo, a permeabilidade e a cobertura vegetal têm efeito cada vez menos pronunciado sobre o tempo de concentração.

A avaliação do tempo de concentração de uma bacia é bastante complexa, devido aos inúmeros condicionantes envolvidos, existindo uma grande variedade de expressões de cálculo, merecendo, por isso, grande atenção na sua determinação, pois influencia significativamente no resultado da descarga de projeto. De uma forma geral, para uma mesma bacia hidrográfica, a descarga máxima calculada é proporcional ao inverso do tempo de concentração para ela considerado.

A seguir, serão apresentadas algumas das fórmulas mais usuais para o cálculo do tempo de concentração, mas a escolha de uma delas deverá estar norteada por alguns parâmetros, a citar como exemplos:

- A mais compatível com a forma da bacia;
- A mais adaptável à região de interesse da rodovia;

- A que contenha o maior número de elementos físicos, como declividade, natureza do solo, recobrimento vegetal, etc;
- A distinção entre área urbana e rural.

Vale destacar que a própria IS-203 esclarece que o tempo de concentração das bacias deverá ser avaliado por metodologias e modelos usuais que apresentem resultados compatíveis e que considerem: comprimento e declividade do talvegue principal; área da bacia; recobrimento vegetal; e uso da terra, dentre outros.

4.2.1. FÓRMULA DE KERBY

$$T_c = 37 * (L * a / I)^{0,47}, \text{ onde:}$$

- T_c = tempo de concentração, em minutos;
- L = comprimento do talvegue principal, em quilômetros;
- I = declividade do talvegue, em %;
- $a = 0,5$.

Essa fórmula forneceu velocidade média de 6,3 km/h para as bacias pequenas, crescendo rapidamente para as bacias maiores, não sendo, assim, recomendável para estas.

4.2.2. FÓRMULA DE KIRPICH

$$T_c = 0,95 * (L^3 / H)^{0,385}, \text{ onde:}$$

- T_c = tempo de concentração, em horas;
- L = comprimento do talvegue principal, em quilômetros;
- H = desnível máximo do talvegue principal, em metros.

Essa fórmula forneceu uma velocidade média de 6,0 km/h para as 15 bacias menores analisadas e de 7,3 km/h para as bacias médias e grandes, indicando

sua aplicação para ambos os casos, embora as velocidades sejam muito altas se comparadas com as outras fórmulas.

4.2.3. FÓRMULA DE PICKING

$$T_c = 5,3 * (L^2 / I)^{1/3}, \text{ onde:}$$

T_c = tempo de concentração, em horas;

L = comprimento do talvegue principal, em quilômetros;

I = declividade do talvegue principal, em metro/metro.

Para as bacias pequenas, a média das velocidades resultou em 5,4 km/h, crescendo para 8,6 km/h para as bacias maiores, não sendo, por isso, indicada para estas.

4.2.4. FÓRMULA DO U. S. CORPS OF ENGINEERS

$$T_c = 0,3 * (L / I^{0,25})^{0,76}, \text{ onde:}$$

T_c = tempo de concentração, em horas;

L = comprimento do talvegue principal, em quilômetros;

I = declividade do talvegue principal, em %.

Para as bacias pequenas resultou em uma velocidade média de 5,1 km/h, crescendo para uma média de 8,1 km/h para bacias maiores, não sendo, por isso, indicada para estas.

4.2.5. FÓRMULA DE VEN TE CHOW

$$T_c = 25,2 * (L / I^{0,5})^{0,64}, \text{ onde:}$$

T_c = tempo de concentração, em minutos;

L = comprimento do talvegue principal, em quilômetros;

I = declividade do talvegue principal, em %.

A média das velocidades para as bacias pequenas resultou em 4,9 km/h, crescendo para 9,4 km/h para as bacias maiores, não sendo, por isso, recomendada para estas.

4.2.6. FÓRMULA DO DNOS

$$T_c = 10 * A^{0,3} * L^{0,2} / (k * I^{0,4}), \text{ onde:}$$

T_c = tempo de concentração, em minutos;

A = área da bacia, em hectare;

L = comprimento do talvegue principal, em metros;

I = declividade do talvegue principal, em %;

k = depende das características da bacia, conforme descrito em seguida.

- Terreno areno-argiloso, coberto de vegetação intensa, elevada absorção ($k = 2,0$);
- Terreno comum, coberto de vegetação, absorção apreciável ($k = 3,0$);
- Terreno argiloso, coberto de vegetação, absorção média ($k = 4,0$);
- Terreno argiloso de vegetação média, pouca absorção ($k = 4,5$);
- Terreno com rocha, escassa vegetação, baixa absorção ($k = 5,0$);
- Terreno rochoso, vegetação rala, reduzida absorção ($k = 5,5$).

Para condições médias, com $K = 4,0$, resultou, na média, uma velocidade de 4,9 km/h para bacias pequenas e 5,7 km/h para bacias maiores, portanto aceitável para qualquer tamanho de bacia.

4.2.7. FÓRMULA DE KIRPICH (MODIFICADA)

$$T_c = 1,42 * (L^3 / H)^{0,385}, \text{ onde:}$$

T_c = tempo de concentração, em horas;

L = comprimento do talvegue principal, em quilômetros;

H = desnível máximo do talvegue principal, em metros

Essa fórmula fornece velocidades próximas da média de todas as expressões analisadas. A velocidade média para as bacias pequenas resultou em 4,0 km/h e para as bacias maiores em 4,8 km/h, indicando sua aplicação para uma grande faixa de áreas.

4.2.8. FÓRMULA DE GEORGE RIBEIRO

$$T_c = 16 * L / (1,05 - 0,2 * Pr) * (100 * I)^{0,04}, \text{ onde:}$$

T_c = tempo de concentração, em minutos;

L = comprimento do talvegue principal, em quilômetros;

I = declividade do talvegue principal, em metro/metro;

Pr = parâmetro dados pela porção da bacia coberta por vegetação.

Para um valor de $Pr = 0,60$ resultou uma velocidade de 3,8 km/h para as bacias menores e de 3,6 km/h para bacias maiores, sendo assim, aplicável para qualquer tamanho de bacia.

4.2.9. FÓRMULA DE PASINI

$$T_c = 0,107 * (A * L)^{1/3} / I^{0,5}, \text{ onde:}$$

T_c = tempo de concentração, em horas;

A = área da bacia, em km²;

L = comprimento do talvegue principal, em quilômetros;

I = declividade do talvegue principal, em metro/metro.

Resultou uma velocidade de 3,9 km/h, na média, para as bacias pequenas de 2,3 km/h para as bacias maiores, sendo assim, aplicável a bacias de qualquer tamanho.

4.2.10. FÓRMULA DE VENTURA

$$T_c = 0,127 * (A * I)^{0,5}, \text{ onde:}$$

T_c = tempo de concentração, em horas;

A = área da bacia, em km^2 ;

I = declividade do talvegue principal, em metro/metro.

Resultou a média das velocidades de 3,9 km/h para bacias pequenas e de 2,4 Km/h para bacias maiores, sendo aplicável a qualquer tamanho de bacia.

4.2.11. FÓRMULA DE ROSSI

$$T_c = 0,77 * (L / I^{0,5})^{0,295}, \text{ onde:}$$

T_c = tempo de concentração, em horas;

L = comprimento do talvegue principal, em quilômetros;

I = declividade do talvegue principal, em %.

Resultaram, em média, uma velocidade muito baixa, de 2,0 km/h para as bacias pequenas, sendo muito altas para as bacias grandes, contra-indicando sua aplicação para ambos os casos.

4.2.12. FÓRMULA DE GIANDOTTI

$$T_c = (4 * A^{0,5} + 1,5 * L) / (0,8 * H^{0,5}), \text{ onde:}$$

T_c = tempo de concentração, em horas;

A = área da bacia, em km^2 ;

L = comprimento do talvegue principal, em quilômetros;

H = desnível máximo do talvegue principal, em metros.

Resultou a aplicação desta expressão, em média, na velocidade de 2,1 km/h para bacias pequenas, e em 5,0 km/h para bacias maiores. As velocidades para

as bacias pequenas são abaixo da média das outras fórmulas, parecendo, por isso, pouco recomendável sua aplicação nestas áreas.

4.2.13. FÓRMULA DE JOHN COLLINS

$$T_c = 44 * L / D_m * (A^2 / I)^{0,2}, \text{ onde:}$$

T_c = tempo de concentração, em minutos;

L = comprimento do talvegue principal, em quilômetros;

A = área da bacia, em km^2 ;

I = declividade do talvegue principal, em % e restrita aos limites 1 % a 3,5 %;

D_m = diâmetro de um círculo de área equivalente ao da bacia, sendo calculado por:

$$D_m = (4 * A / \pi)^{0,5}, \text{ onde:}$$

A média das velocidades para bacias pequenas resultou em 1,8 km/h e para bacias maiores em 3,1 km/h. As velocidades para bacias pequenas são reduzidas, comparadas com a média das outras fórmulas, não se recomendando, por isso, seu emprego para estas.

4.2.14. R. PELTIER / J. L. BONNENFANT

O tempo de concentração é calculado pela expressão:

$$T_c = T_1 + T_2, \text{ onde:}$$

T_c = tempo de concentração, em minutos;

T_1 = tempo de concentração expresso em minutos, tabelados em função da cobertura vegetal e declividade do talvegue (tabela 4.5).

$$T_2 = \beta * T^2, \text{ sendo:}$$

β = coeficiente de correção da cobertura vegetal (tabela 4.5);

T^2 = valores constantes nas tabelas 4.6 A 4.11.

$$\alpha = L / A^{0,5}, \text{ onde:}$$

α = coeficiente de forma da bacia;

L = comprimento do talvegue principal, em hectômetro;

A = área da bacia, em hectare.

Tabela 4.5 – Valores de T_1 e de β .

TEMPOS DE ACUMULAÇÃO E COFICIENTE DE CORREÇÃO DA COBERTURA VEGETAL							
Natureza da cobertura vegetal	Correção da cobertura vegetal	Valores de T_1 (min)					
		Declividade do talvegue "I" (m/m)					
	β	0,025	0,05	0,1	0,15	0,20	0,25
Plataforma de estradas, terrenos com vegetação rala, sem vegetação ou rochosa (região montanhosa com rocha)	1,00	7	5	3	2	2	2
Vegetação normal, gramas, etc. (região montanhosa)	1,33	16	13	8	6	5	5
Vegetação densa e cerrado (região plana)	1,67	20	16	10	8	7	6
Floresta densa (região plana com alagadiços)	2,50	20	20	18	10	9	8

Tabela 4.6 – Valores de T'_{2} para $I = 0,025 \text{ m/m}$.

I = 0.025m/m	α												
	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	3.0	4.0
A (ha)													
1	3	3	3	4	4	4	5	5	5	5	6	9	13
2	4	5	5	5	6	6	7	7	8	8	8	13	17
5	6	6	7	7	8	8	9	10	10	11	11	17	23
10	7	8	8	9	10	11	11	12	13	13	14	21	32
20	11	12	14	15	16	17	18	19	20	22	23	34	45
30	13	14	15	17	18	19	20	22	23	24	25	28	51
40	15	16	17	18	20	21	23	24	25	27	28	42	55
50	17	19	20	22	24	25	27	29	31	32	34	51	58
60	24	29	29	31	34	35	38	41	43	45	48	72	96
70	30	33	36	39	42	45	48	50	53	55	59	89	119
80	33	36	39	41	46	49	52	55	59	62	65	98	130
90	35	39	42	46	50	53	57	60	64	67	74	106	141
100	38	42	45	50	53	57	61	65	69	73	76	115	153
150	48	53	58	62	67	72	77	82	87	91	96	144	192
200	57	62	67	74	79	85	91	96	102	107	113	170	225
250	69	75	83	90	97	104	111	118	125	132	139	206	227
300	81	89	97	105	113	121	129	137	147	153	160	242	322
400	109	120	131	142	153	168	174	185	196	207	221	327	435

Tabela 4.7 – Valores de T_2 para $I = 0,05$ m/m.

I = 0.05m/m	α												
	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	3.0	4.0
A (ha)													
1	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	5	8
2	3	3	4	4	4	4	5	5	5	6	6	9	12
5	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	12	16
10	5	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	15	20
20	8	9	10	10	11	12	13	14	14	15	16	24	32
30	9	10	11	12	13	13	14	15	16	17	18	27	35
40	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	30	40
12	12	13	14	16	17	18	19	20	22	23	24	36	48
60	17	19	20	22	24	25	27	29	31	32	34	51	68
70	21	23	25	27	29	31	34	36	38	40	42	63	84
80	23	25	28	30	32	34	37	39	41	44	46	69	92
90	25	27	30	32	35	37	40	42	45	47	50	75	100
100	27	30	32	35	38	40	43	45	49	51	54	81	108
150	34	37	41	44	48	51	54	58	61	65	68	102	135
200	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	120	160
250	49	54	59	64	69	73	78	83	88	93	98	147	198
300	57	63	68	74	80	85	91	97	102	108	114	171	228
400	77	85	92	100	108	116	116	131	139	146	154	231	306

Tabela 4.8 – Valores de T'_{2} para $I = 0,10$ m/m.

I = 0.10m/m	α													
	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	3.0	4.0	
A (ha)														
1	1	2	2	2	2	2	22	2	3	3	3	4	5	
2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	6	8	
5	3	3	3	4	4	4	5	5	5	5	6	8	11	
10	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	11	14	
20	6	6	7	7	8	8	9	10	10	11	11	17	23	
30	6	7	8	8	9	10	10	11	11	12	13	19	25	
40	7	8	8	9	10	11	11	12	13	13	14	21	28	
50	8	9	10	11	12	13	14	14	15	16	17	25	34	
60	12	13	14	15	17	18	19	20	22	23	24	36	48	
70	15	16	18	19	21	22	24	25	27	28	30	45	59	
80	16	18	20	21	23	24	26	28	29	31	33	49	65	
90	18	19	21	23	25	26	28	30	32	34	35	53	71	
100	19	21	23	25	27	29	31	32	34	36	38	57	78	
150	24	26	29	31	34	36	38	41	43	46	48	72	96	
200	28	31	34	37	40	42	45	48	51	54	57	85	113	
250	35	38	42	45	48	52	55	59	62	66	69	104	139	
300	40	44	48	52	56	60	64	68	72	77	81	121	161	
400	54	60	65	71	76	82	87	92	98	103	109	168	218	

Tabela 4.9 – Valores de T_2 para $I = 0,15$ m/m.

I = 0.15m/m	α												
	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	3.0	4.0
A (ha)													
1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	5	7
5	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4	5	7	9
10	3	3	3	4	4	4	5	5	5	5	6	9	12
20	5	5	6	6	6	7	7	8	8	9	9	14	19
30	5	6	6	7	7	8	8	9	9	10	10	16	21
40	6	6	7	8	8	9	9	10	10	11	12	17	23
50	7	7	8	9	10	10	11	12	12	13	14	21	28
60	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	29	39
70	12	13	15	16	17	18	19	21	22	23	24	36	49
80	13	15	16	17	19	20	21	23	24	25	27	40	53
90	14	16	17	18	20	22	23	25	26	27	29	43	58
100	16	17	19	20	22	23	25	27	28	30	31	47	62
150	22	22	24	26	27	29	31	32	33	35	37	59	79
200	23	25	28	30	32	35	37	39	42	44	46	69	92
250	28	31	34	37	40	42	45	48	51	54	57	85	113
300	33	36	40	43	46	49	53	56	59	63	66	99	132
400	44	49	53	58	62	67	71	76	80	84	89	134	178

Tabela 4.10 – Valores de T'_{2} para $I = 0,20$ m/m.

I = 0.20m/m	α													
	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	3.0	4.0	
A (ha)														
1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	4	
2	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	5	
5	2	2	2	3	3	3	4	3	4	4	4	6	8	
10	2	3	3	3	3	4	5	4	4	5	5	7	10	
20	4	4	5	5	6	6	7	7	7	8	8	12	16	
30	4	5	5	6	6	7	8	8	8	9	9	13	18	
40	5	5	6	6	7	7	9	8	9	9	10	15	20	
50	6	7	7	8	8	9	11	10	11	11	12	18	24	
60	8	9	10	11	12	13	16	14	15	16	17	25	34	
70	10	12	13	14	15	16	19	18	19	20	21	31	42	
80	11	13	14	15	16	17	21	20	21	22	24	34	46	
90	12	14	15	16	17	19	23	21	22	24	25	37	50	
100	13	15	16	18	19	20	25	23	24	26	27	40	54	
150	17	19	20	22	24	25	31	29	31	32	34	51	68	
200	20	22	24	26	28	30	37	34	36	38	40	60	80	
250	24	27	29	32	34	37	45	42	44	47	49	73	98	
300	28	31	34	37	40	45	53	48	51	54	57	85	114	
400	38	42	46	50	54	58	71	65	69	73	77	105	154	

Tabela 4.11 – Valores de T'_{2} para $I = 0,25$ m/m.

I = 0.25m/m	α												
	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	3.0	4.0
A (ha)													
1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	4
2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	5
5	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	5	9
10	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	5	9
20	4	4	4	5	5	5	6	6	6	7	7	11	14
30	4	4	5	5	6	6	6	7	7	8	8	12	16
40	5	5	5	6	6	7	7	8	8	8	9	13	16
50	5	6	6	7	7	8	8	9	10	10	11	16	21
60	8	8	9	10	11	11	12	13	14	14	15	23	30
70	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	28	38
80	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20	21	31	41
90	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22	33	45
100	12	13	14	17	17	18	19	21	22	23	24	36	48
150	15	17	18	20	21	23	24	26	27	29	30	46	60
200	18	20	21	23	26	27	29	30	32	34	36	54	65
250	22	24	26	28	31	35	36	37	39	42	44	66	68
300	25	28	31	35	36	38	41	45	46	48	51	76	102
400	34	38	41	45	48	52	55	59	62	65	69	103	137

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**. Rio de Janeiro, IPR, 2 ed. DNIT, 2005.

BRASIL. **Diretrizes Básicas para Estudos e Projetos Rodoviários: Escopos Básicos/ Instruções de Serviço**. Rio de Janeiro, IPR, 3 ed. DNIT, 2006.

DNOS. **Chuvvas Intensas no Brasil**. Brasília, Ministério da Viação e Obras Públicas, 1957.

GIMENEZ, Alírio Brasil. FIGUEIREDO, Antônio Domingues. SILVA, Cláudio Oliveira. LANGENDONCK, Francisco Van. ROMERO, José Roberto Hortêncio. JABÔR, Marcos Augusto. TSUTIYA, Milton Yomoyuki. DEBS, Mounir Khalil El. NETO, Pedro Jorge Chama. BANNOKI, Regina. **Manual Técnico de Drenagem e Esgoto Sanitário**. São Paulo, ABTC, 1 ed, 2008.

JABÔR, Marcos Augusto. **Drenagem de Rodovias – Estudos Hidrológicos e Projeto de Drenagem**. Notas de aula, 2019.

TORRICO, José Jaime Taborga. **Práticas Hidrológicas**. Rio de Janeiro, TRANSCON, 2 ed., 1975.