

CÓDIGO	VERSÃO	DATA DA APROVAÇÃO	USO EXCLUSIVO DA USPE	PÁG.	DE
NT-32	01	27/03/2023	NOTA TÉCNICA	1	17

## METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).

### 1 OBJETIVO

1.1 O objetivo desta nota técnica é apresentar a metodologia de cálculo para determinação das vazões mínimas em secas severas e das vazões máximas de cheias severas para os tempos de recorrência de 10 (dez), 25 (vinte e cinco), 50 (cinquenta), 100 (cem), 200 (duzentos), 500 (quinhentos) e 1.000 (mil) anos.

### 2 LISTA DE SIGLAS E EXPRESSÕES

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

FRA – Fator de Redução Areal

HU – Hidrograma Unitário

IAT – Instituto de Água e Terra

IDF – Intensidade-duração-frequência

GGAM – Gerência de Gestão Ambiental

GPDA – Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Ambiental

CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

REV – Revisão

SCS – *Soil Conservation Service*

SEAF – Sistema Especialista em Análise de Frequência

SIRGAS2000 – Sistema de Referência Geodésico para as Américas (2000)

TR – Tempo de recorrência em anos

UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais

UTM – Universal Transversa de Mercator

### 3 CONSIDERAÇÕES GERAIS

3.1 Os resultados dos estudos de eventos hidrológicos severos foram elaborados para o Estado do Paraná e podem ser obtidos por meio de consulta à GGAM / GPDA.

3.2 A revisão dos estudos hidrológicos de eventos severos está sob responsabilidade da GPDA.

3.3 O sistema proposto atual está em Planilha Excel e em geodatabase do ArcGIS armazenando as informações dos eventos hidrológicos severos.

3.4 Devem ser importadas para plataforma do aplicativo Dashboard do ArcGis.

3.5 Os resultados são divulgados sob consulta e pelo Portal do ArcGis.

CÓDIGO NT-32	VERSÃO 01	DATA DA APROVAÇÃO 27/03/2023	USO EXCLUSIVO DA USPE NOTA TÉCNICA	PÁG. DE 2 17
-----------------	--------------	---------------------------------	---------------------------------------	-----------------

## METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).

### 4 INSTRUÇÕES DE TRABALHO

- 4.1 Os dados disponibilizados nas ferramentas disponibilizadas internamente devem ser usados conforme orientado no respectivo Manual.
- 4.2 Para uso das ferramentas disponibilizadas, aplicar coordenadas em UTM SIRGAS2000.
- 4.3 As vazões mínimas ou máximas, bem como as equações de chuvas intensas são divulgadas sob consulta.

### 5 METODOLOGIA

- 5.1 A metodologia apresenta secas severas e na sequência as cheias severas. As cheias severas estão subdivididas em chuvas máximas de projeto e os três métodos para obtenção das vazões máximas de projeto. Face à subjetividade na escolha do risco hidrológico adequado, deve-se considerar os diversos Tempos de Recorrência (TR) definidos na Tabela 01. Para todos os tipos devem ser avaliados todos os tempos de recorrência, de 10, 25, 50, 100, 200, 500 e 1000 anos.

*Tabela 01– Tempo de recorrência em função do porte do empreendimento.*

TIPO	Vazão (L/s)	Tempos de Recorrência ( $T_R$ ) mínimo a ser adotado	Probabilidade de excedência a cada ano	Risco admissível para 30 anos
I	$Q \geq 400$	100 anos	1%	26%
II	$115 \leq Q < 400$	50 anos	2%	45%
III	$31 \leq Q < 114$	25 anos	4%	71%
IV	$Q < 30$	10 anos	10%	96%
Travessia sobre corpo hídrico		50 e 100 anos	2%	45%

#### 5.2 SECAS SEVERAS

- 5.2.1 A metodologia do estudo depende da disponibilidade de registros históricos mínimos de vazão.
- 5.2.2 Considerando a preocupação da Sanepar com a necessidade do entendimento das secas e que impactos que elas podem causar, os Estudos de Disponibilidade Hídrica devem incluir as seguintes análises:
  - a) Calcular a vazão mínima anual.
  - b) Calcular a média, o desvio-padrão e assimetria da série de mínimos anuais.
  - c) Realizar avaliação de Outliers.
  - d) Deve-se apresentar gráfico com a comparação entre a distribuição empírica e as

CÓDIGO NT-32	VERSÃO 01	DATA DA APROVAÇÃO 27/03/2023	USO EXCLUSIVO DA USPE NOTA TÉCNICA	PÁG. DE 3 17
-----------------	--------------	---------------------------------	---------------------------------------	-----------------

## METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).

demais distribuições. Apresentar em gráfico separa a extrapolação.

- e) Escolher uma distribuição estatística para Extremos Mínimos (Gumbel, Weibull, etc) privilegiando a que melhor se ajuste às vazões mínimas históricas (distribuição empírica).
- f) Elaboração de gráfico com a distribuição escolhida incluindo o segmento da extrapolação.
- g) Obtenção das vazões mínimas de projeto obtidas da distribuição estatística escolhida nos Tempos de Recorrência (TR) definidos na Tabela 01.

5.2.3 Em estudos hidrológicos, usualmente, são utilizados testes de hipóteses para verificar a aderência de determinada distribuição de probabilidade para a série de dados de vazões. Podem ser aplicados à série de vazões mínimas três testes: Kolmogorov Smirnov, Qui-Quadrado e Anderson-Darling.

5.2.4 As vazões de seca severa são divulgadas sob consulta e pelo Portal do ArcGis.

### 5.3 CHEIAS SEVERAS.

5.3.1 Equação de Chuvas Intensas (Intensidade-duração-frequência):

- a) Considerando que existem apenas 41 estações pluviográficas utilizadas no estudo de Fendriech (2011), optou-se por avaliar as estações pluviométricas convencionais que tivessem pelo menos 10 anos de dados e aplicou-se um método consagrado de desagregação de chuvas (Torricco, 1974).
- b) Estas equações pluviométricas de intensidade-duração-frequência (IDF) são utilizadas na determinação das vazões máximas de projetos pelos métodos Racional e Hidrograma unitário sintético. Podem também ser usados nos dimensionamentos de drenagem de lotes, drenagem urbana e outras estruturas hidráulicas.
- c) Este relatório contendo o Resumo Executivo segue de forma geral a metodologia do Projeto Atlas Pluviométrico do Brasil elaborado pela CPRM (2013). Está estruturado apresentando a metodologia utilizada e os principais resultados obtidos.
- d) As chuvas diárias das estações pluviométricas foram obtidas por meio de consulta no sítio do Instituto de Água e Terra (IAT) que estão consistidas.
- e) Para cada estação pluviométrica foi determinada a maior chuva diária para cada ano para obtenção da série de máximos anuais. Para esta série de máximos anuais foi avaliada a presença de valores atípicos (outliers), aplicados testes de independência

CÓDIGO	VERSÃO	DATA DA APROVAÇÃO	USO EXCLUSIVO DA USPE	PÁG.	DE
NT-32	01	27/03/2023	NOTA TÉCNICA	4	17

## **METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).**

e homogeneidade. Foi estimada a distribuição empírica e foram avaliadas várias distribuições teóricas de probabilidades. A distribuição teórica de probabilidade adotada foi a que teve melhor aderência considerando vários testes. Foi aplicada a distribuição teórica de probabilidade para extrapolar a maior chuva diária para os tempos de recorrência de 10 (dez), 25 (vinte e cinco), 50 (cinquenta), 100 (cem), 200 (duzentos), 500 (quinhentos) e 1.000 (mil) anos. A partir destas chuvas de projetos para vários tempos de recorrência foi aplicado o método de Torrico para obter as intensidades de chuva para várias durações e tempos de recorrência. Para esse conjunto de dados de intensidade, duração e frequência foram ajustadas curvas e obtidos os parâmetros A, B, C e D.

- f) Além das chuvas diárias, também foram calculadas as chuvas de 02 (dois) dias de duração e de 03 (três) dias de duração. Para estas durações também foi obtida a série de máximos, avaliada a presença de outliers, aplicado testes estatísticos de independência e homogeneidade, ajustada uma distribuição teórica de probabilidades e extrapolada diária para os tempos de recorrência de 10 (dez), 25 (vinte e cinco), 50 (cinquenta), 100 (cem), 200 (duzentos), 500 (quinhentos) e 1.000 (mil) anos. Estas durações não estão incluídas nas curvas IDF ajustadas.
- g) Para a avaliação de presença de valores atípicos, tanto superiores, quanto inferiores é aplicado o Teste de Grubbs. Os valores identificados são excluídos da amostra, pois podem afetar significativamente o ajuste da distribuição teórica de probabilidades.
- h) Para testar a independência dos valores da série de máximos foi aplicado o teste de Ljung-Box. Para que a amostra seja considerada homogênea é aplicado o teste não paramétrico de Mann-Kendall.
- i) A distribuição empírica é baseada na posição de plotagem de Weibull. São avaliadas as seguintes distribuições teóricas de probabilidade: Gumbel, Pearson, log-Pearson, exponencial, Generalizada de Valores Extremos, Generalizada de Pareto, Weibull, Normal, log-Normal, Gama e Logística. A escolha da distribuição teórica de probabilidades se baseia numa série de testes para determinar o melhor ajuste. Os testes aplicados são: Cramer-von Mises, Anderson-Darling, Kolmogorov-Smirnov, critérios de informação de Akaike e Bayesiano. A partir da distribuição teórica de probabilidades escolhida é realizada a extrapolação para obtenção das chuvas diárias

CÓDIGO	VERSÃO	DATA DA APROVAÇÃO	USO EXCLUSIVO DA USPE	PÁG.	DE
NT-32	01	27/03/2023	NOTA TÉCNICA	5	17

## METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).

para vários tempos de recorrência.

- j) A aplicação do método de Torrico teve como objetivo principal obter intensidades de chuva a partir da chuva diária. A definição das relações IDF é baseada no trabalho de Torrico (1974), que correlaciona chuvas de 06 (seis) minutos, 01 (uma) hora e 24 (vinte e quatro) horas segundo o Método das Isozonas, do qual se deduz a precipitação para tempos de duração inferiores a 24 (vinte e quatro) horas. Este processo de desagregação foi validado ao comparar as chuvas desagregadas entre o Método do Torrico e as estações pluviográficas utilizadas pelo trabalho de Fiendrich (2011).
- k) Para determinação da equação de chuvas intensas foram testados vários intervalos de dados para verificar o melhor ajuste. Os intervalos testados foram:
- k.1) 0,1 (zero vírgula uma) hora ≤ duração da chuva ≤ 02 (duas) horas e 02 (duas) horas < duração da chuva ≤ 24 (vinte e quatro) horas.
- k.2) 0,1 (zero vírgula uma) hora ≤ duração da chuva ≤ 24 (vinte e quatro) horas.
- k.3) 0,1 (zero vírgula uma) hora ≤ duração da chuva ≤ 01 (uma) hora e 01 (uma) hora < duração da chuva ≤ 24 (vinte e quatro) horas.
- k.4) 0,1 (zero vírgula uma) hora ≤ duração da chuva ≤ 04 (quatro) horas e 04 (quatro) horas < duração da chuva ≤ 24 (vinte e quatro) horas.
- l) A equação utilizada para determinação das intensidades de chuva está apresentada a seguir. No qual:
- l.1)  $i$  – intensidade de chuva (mm/h).
- l.2) A, B, C e D – parâmetros ajustados da equação de chuvas intensas.
- l.3) TR – tempo de recorrência (anos) e  $t$  – tempo de duração da chuva (minutos).

$$i = \frac{A TR^B}{(t + C)^D}$$

(Equação 01)

- m) De forma geral, a equação que sempre obteve o melhor ajuste foi a opção k.2. Neste documento devem ser apresentadas estas equações para este intervalo de tempo. Para a determinação dos parâmetros A, B, C e D segue a metodologia do Atlas Pluviométrico do Brasil (CPRM, 2013).
- n) Foram avaliadas inicialmente 998 estações pluviométricas convencionais, foram

CÓDIGO	VERSÃO	DATA DA APROVAÇÃO	USO EXCLUSIVO DA USPE	PÁG.	DE
NT-32	01	27/03/2023	NOTA TÉCNICA	6	17

## METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).

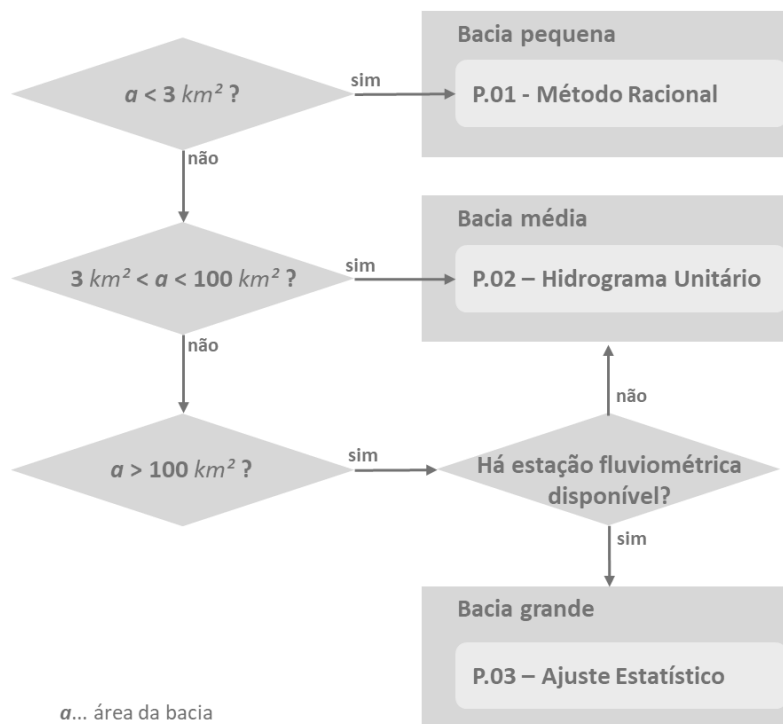
descartadas as estações que não foi possível ajustar a distribuição teórica de probabilidades da série de máximos anuais e para obtenção da equação de chuvas intensas. O número de estações resultantes foi de 975. Foram também realizadas análises geoespaciais a fim de avaliar inconsistências não detectadas em etapas anteriores e optou-se por utilizar as estações pluviométricas com mais de 25 anos de dados, resultando em 612 estações.

- o) As equações de chuvas intensas são divulgadas sob consulta e pelo Portal do ArcGis.

### 5.3.2 Vazões máximas de projeto:

- a) São considerados três métodos para o cálculo das vazões de cheia:
- a.1) P.01 – Método Racional: Somente bacias com até 3 km<sup>2</sup>.
  - a.2) P.02 – Hidrograma Unitário: bacias entre 3 e 100 km<sup>2</sup>.
  - a.3) P.03 – Ajuste Estatístico: somente para bacias maiores que 100 km<sup>2</sup>.
  - a.4) Caso não existam estão fluviométricas que possam ser utilizadas, deve aplicar o Hidrograma Unitário.
- b) As vazões máximas de projeto são divulgadas sob consulta .

**Figura 01 – Critérios para escolha do método de cálculo**



CÓDIGO NT-32	VERSÃO 01	DATA DA APROVAÇÃO 27/03/2023	USO EXCLUSIVO DA USPE NOTA TÉCNICA	PÁG. DE 7 17
-----------------	--------------	---------------------------------	---------------------------------------	-----------------

## METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).

### 5.3.3 Caracterizar a fisiografia da bacia:

- A bacia hidrográfica transforma as entradas de água de chuvas em saídas de água de escoamento superficial, infiltração e evapotranspiração. Isso é influenciado pelo o comprimento do rio principal e a fisiografia da área drenada influenciam no tempo de concentração e na velocidade do escoamento das águas fluviais.
- Área de drenagem (A):** área da bacia a montante a seção de rio mais próxima ao empreendimento. Está diretamente relacionada à vazão no rio e às cheias.
- Tempo de Concentração ( $T_c$ ):** avalia o comportamento do escoamento na bacia no curso d'água principal, em termos de **seu talvegue L** e da declividade média **S**.
- Diversas fórmulas fornecem o tempo de concentração –  $T_c$  mais adequado a bacias hidrográficas em contexto rural ou urbano. A Tabela abaixo orienta quais fórmulas adotar. Sendo que  $T_c$  – tempo de concentração (h),  $S$  – declividade média da bacia (m/m),  $A$  – área (km<sup>2</sup>) e  $L$  – comprimento do rio (km) .

**Tabela 02 – Fórmulas de  $T_c$  recomendadas (adaptado de Silveira, 2005)**

Fórmula	Equação	Bacia Rural	Bacia Urbana
Corps Engineers	$T_c = 0,191 L^{0,76} S^{-0,19}$ (Equação 02)	X	
Kirpich	$T_c = 0,0663 L^{0,77} S^{-0,385}$ (Equação 03)		X

- Declividade média da bacia: declividade média é a razão entre o desnível  $H$  (diferença de altitude entre a nascente e o exutório) e o comprimento  $L$  do curso d'água principal (*Figura 02*). Sendo que  $S$  - declividade média (m/m),  $H$  – diferença de cotas no exutório e o ponto mais distante (m) e  $L$  – comprimento total do curso d'água principal (m).

$$S = \frac{H}{L} \text{ (Equação 04)}$$

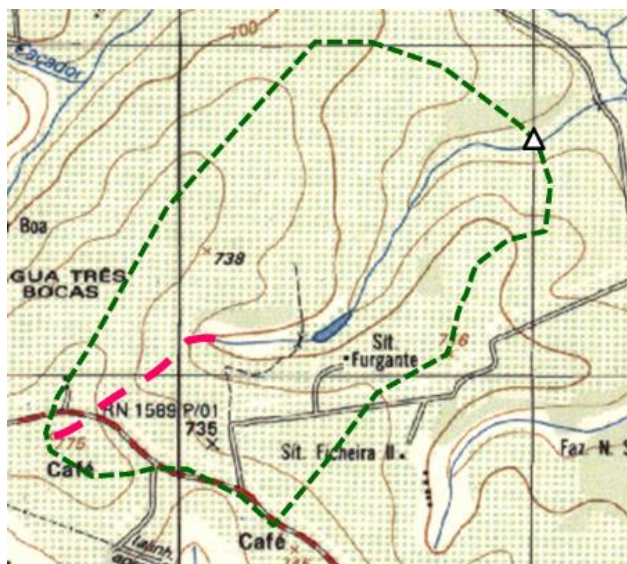
- Os parâmetros  $L$  e  $H$  podem ser obtidos após o prolongamento do talvegue (linha

CÓDIGO	VERSÃO	DATA DA APROVAÇÃO	USO EXCLUSIVO DA USPE	PÁG.	DE
NT-32	01	27/03/2023	NOTA TÉCNICA	8	17

## METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).

grossa tracejada) até o divisor de águas (tracejado fino). No exemplo abaixo: desnível  $H$  é de  $137m$ , medido entre a cota  $638m$  na seção de interesse (assinalada pelo triângulo), e  $775m$  no divisor de águas; o talvegue  $L$  é  $3.700m$ , do triângulo ao divisor; a declividade  $S$  é  $137m \div 3.700m = 0,037m/m$ .

Figura 02 – Obtenção de parâmetros da bacia hidrográfica



### 5.3.4 Processo P.01 – Método Racional:

- O Método Racional determina a vazão máxima de projeto em bacias de até  $3 \text{ km}^2$ . Estima a vazão de pico, mas não provê informações completas sobre o hidrograma.
- Princípios básicos: A duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia. Essa condição é favorável a estudos de Cota de Inundação, uma vez que:
  - A duração é inversamente proporcional à intensidade.
  - A precipitação é uniforme sobre toda a bacia e homogênea na duração do evento.
  - O coeficiente  $C$  prediz o escoamento superficial, de acordo com as características da bacia. O Método Racional não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões.
- Determinar vazão pela equação do Método Racional: Sendo que:  $Q_s$  – vazão superficial máxima ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ).  $C$  – coeficiente de deflúvio.  $i$  – intensidade de chuva ( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ).  $A$  – área da bacia ( $\text{km}^2$ ).  $0,278$  compatibiliza as unidades de medida. O fator  $0,278$  considera



CÓDIGO <b>NT-32</b>	VERSÃO <b>01</b>	DATA DA APROVAÇÃO <b>27/03/2023</b>	USO EXCLUSIVO DA USPE <b>NOTA TÉCNICA</b>	PÁG. DE <b>9 17</b>
------------------------	---------------------	--	--	------------------------

## METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).

uma chuva de 1mm de altura, homogênea em toda a bacia.

$$Q_s = 0,278 \cdot C \cdot i \cdot A \quad (\text{Equação 05})$$

- d) Obter a intensidade de chuva pelas Equações de Chuvas Intensas (sob consulta) considerando a equação mais próxima do local em estudo.
- e) Os cálculos do Método Racional podem ser apresentados na seguinte forma:

Tabela 03 – Exemplo de tabela para Método Racional.

Coeficiente de Deflúvio – C					Vazão Máxima – Qs				
TR	Altura Total mm	Chuva Efetiva mm	Pef	C = Pef / P	TR	C	i mm/h	A km <sup>2</sup>	Qs m <sup>3</sup> /s
10					10				
25					25				
50					50				
100					100				
200					200				
500					500				
1000					1000				

- f) O escoamento Superficial (C) ou Coeficiente de Deflúvio faz o balanço hídrico da chuva (volume precipitado) com o escoamento superficial (volume escoado), levando em conta a ocupação da bacia hidrográfica.

Para minimizar diferenças entre os métodos Racional e Hidrograma Unitário Sintético, deve ser inicialmente calculado o coeficiente de escoamento baseada na metodologia do CN. Sendo que: C – Coeficiente de deflúvio, Pef – Precipitação efetiva (ver na sequência), Pt -Precipitação total.

$$C = \frac{P_{ef}}{P} \quad (\text{Equação 06})$$

- g) Caso a Precipitação efetiva seja nula, existem duas opções:
- g.1) Usar valor mínimo em função do tempo de recorrência (Tabela 04).
- g.2) Podem ser utilizados os valores tabelados existentes na bibliografia, relacionado com natureza predominante da superfície e também com o tipo de ocupação da bacia hidrográfica deverão ser pesquisados.

CÓDIGO <b>NT-32</b>	VERSÃO <b>01</b>	DATA DA APROVAÇÃO <b>27/03/2023</b>	USO EXCLUSIVO DA USPE <b>NOTA TÉCNICA</b>	PÁG. DE <b>10 17</b>
------------------------	---------------------	--	--	-------------------------

## METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).

Tabela 04 – Coeficiente de escoamento mínimo em função do tempo de recorrência

CNF	C_TR10	C_TR25	C_TR50	C_TR100	C_TR200	C_TR500	C_TR1000
60	0,1000	0,122	0,133	0,156	0,178	0,211	0,233
65	0,1200	0,145	0,160	0,180	0,200	0,230	0,260
70	0,1400	0,168	0,185	0,206	0,231	0,261	0,292
75	0,1600	0,190	0,210	0,230	0,261	0,290	0,320
80	0,1800	0,214	0,236	0,259	0,293	0,326	0,360
85	0,3300	0,371	0,403	0,431	0,462	0,503	0,535
90	0,5000	0,545	0,578	0,605	0,638	0,683	0,720
91	0,5500	0,583	0,605	0,622	0,644	0,677	0,710
92	0,6000	0,636	0,660	0,678	0,702	0,738	0,774
93	0,6500	0,673	0,692	0,705	0,722	0,751	0,774
94	0,7000	0,725	0,746	0,760	0,777	0,809	0,833
95	0,7500	0,776	0,799	0,814	0,833	0,866	0,893
96	0,8000	0,808	0,824	0,832	0,840	0,864	0,872
97	0,8500	0,854	0,863	0,867	0,871	0,884	0,888
98	0,9000	0,902	0,907	0,909	0,911	0,918	0,920
99	0,9500	0,950	0,950	0,950	0,950	0,950	0,950
100	1,0000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

- h) Determinar a altura da precipitação efetiva  $P_{ef}$ : Usar o método do coeficiente CN (Tabela 06 e Tabela 05) para estimar o quanto da precipitação total  $P_t$  deve ser escoamento superficial, levando em conta o tipo e uso do solo. Ampliar a ocupação urbana, simulando sua expansão no tempo de vida da obra.

Tabela 05 – Grupos de solo por permeabilidade (Sartori, 2004)

Solo	Grupo
Latossolo vermelho férrico	A
Latossolo bruno / latossolo vermelho / latossolo vermelho-amarelo Nitossolo háplico / nitossolo vermelho	B
Cambissolo / Espodossolo cárbico / espodossolo ferrocárbico	C
Afloramento de rocha / Alissolo crômico / Gleissolo / Luvisolo crômico / Neossolo / neossolo lítico / Organossolo / Qualquer solo no município em Curitiba	D

CÓDIGO NT-32	VERSÃO 01	DATA DA APROVAÇÃO 27/03/2023	USO EXCLUSIVO DA USPE NOTA TÉCNICA	PÁG. DE 11 17
-----------------	--------------	---------------------------------	---------------------------------------	------------------

## METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).

- i) Determinar o coeficiente de escoamento com valores tabelados conhecidos. As Tabela 07 e Tabela 08 apresentam alguns valores conhecidos.

Tabela 06 - Valores de CN para uso e cobertura do solo

Uso do Solo	A	B	C	D
Agricultura anual	67	77	83	87
Área urbanizada e construída	89	92	94	95
Campos de altitude	45	66	77	83
Corpos d'água	100	100	100	100
Floresta em estágio inicial	56	75	86	91
Floresta em estágio médio ou avançado	36	60	70	76
Linha de praia	68	79	86	89
Mangue	56	75	86	91
Pastagens e campos	47	67	81	88
Reflorestamento	46	68	78	84
Restinga	56	75	86	91
Solo exposto ou mineração	68	79	86	89
Vegetação de várzea	56	75	86	91

Tabela 07 - Valores de C por tipo de ocupação da bacia (adaptado: ASCE, 1969 e Wilken, 1978).

Descrição da área	C
Área Comercial / Edificação muito densa:	
Partes Centrais , densamente construídas, em cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70-0,95
Área Comercial / Edificação não muito densa:	
Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60-0,70
Área Residencial:	
Residências isoladas, com muita superfície livre	0,35-0,50
Unidades multiplas (separadas), partes residencias com ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,50-0,60
Unidades múltiplas (conjugadas)	0,60-0,75
Lotes com mais de 2.000 m <sup>2</sup>	0,30-0,45
Áreas com apartamentos	0,50-0,70
Área Industrial:	
Indústrias leves	0,50-0,80

CÓDIGO NT-32	VERSÃO 01	DATA DA APROVAÇÃO 27/03/2023	USO EXCLUSIVO DA USPE NOTA TÉCNICA	PÁG. 12	DE 17
-----------------	--------------	---------------------------------	---------------------------------------	------------	----------

## METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).

Tabela 08 - Valores de C por tipo de ocupação da bacia (adaptado: ASCE, 1969 e Wilken, 1978) – continua.

Descrição da área	C
indústrias pesadas	0,60-0,90
Outros:	
Matas, parques e campos de esporte, partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas e parques ajardinados	0,05-0,20
Parques, cemitérios, subúrbio com pequena densidade de construção	0,10-0,25
Playgrounds	0,20-0,35
Pátios ferroviários	0,20-0,40
Áreas sem melhoramentos	0,10-0,30

Tabela 09 - Valores de C de acordo com diferentes superfícies de revestimento (fonte: ASCE, 1969).

Superfície	C
Pavimento:	
Asfalto	0,70-0,95
Concreto	0,80-0,95
Calçada	0,75-0,85
Telhado	0,75-0,95
Cobertura: grama / areia	
Plano (declividade 2%)	0,05-0,10
Médio (declividade de 2 a 7%)	0,10-0,15
Alta (declividade 7%)	0,15-0,20
Grama, solo pesado:	
Plano (declividade 2%)	0,13-0,17
Médio (declividade de 2 a 7%)	0,18-0,22
Alta (declividade 7%)	0,25-0,35

### 5.3.5 Processo P.02 – Hidrograma Unitário:

- O método do Hidrograma Unitário (HU) calcula vazões máximas a partir de uma chuva de projeto, aqui procedida à luz do *Soil Conservation Service* (SCS). A cada Tempo de Recorrência estima-se a chuva que provoque a máxima vazão provável no período, em conformidade à fisiografia da bacia.
- Definir o HU com base nas características da bacia. Apresentar gráfico indicando os parâmetros principais do HU e tabela com as vazões unitárias ao longo do tempo de base.
- Desmembrar a chuva de projeto em blocos:
  - com duração idêntica à da chuva unitária do HU, cada bloco com intensidade

CÓDIGO	VERSÃO	DATA DA APROVAÇÃO	USO EXCLUSIVO DA USPE	PÁG.	DE
NT-32	01	27/03/2023	NOTA TÉCNICA	13	17

## METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).

diferenciada refletindo o que ocorre na prática.

c.2) número de blocos deve ser estimado dividindo-se o tempo de concentração da bacia pelo tempo de duração da chuva unitária e arredondando este quociente para o inteiro mais próximo.

d) Calcular a altura de precipitação de cada bloco, segundo o tempo de concentração:

d.1) Independente do tempo de concentração, deve ser calcular a intensidade de chuva (mm.h-1) pela Equação de Chuvas Intensas (sob consulta), usando: Tempo de duração (t): o tempo acumulado de cada bloco. Tempo de Recorrência (TR): o adotado no projeto.

e) Quanto maior a bacia, menores as chances de uma chuva simultânea em toda a sua área. Por este motivo deve-se atenuar a intensidade de chuva dos blocos por um fator de redução conforme a equação abaixo. Sendo: FRA – Fator de Redução Areal, A- área da bacia (km<sup>2</sup>), t - duração da chuva (min).

$$F_{RA} = 1 - \left( \frac{\sqrt{A}}{27,3 \times t^{0,215}} \right) \quad (\text{Equação 07})$$

f) Determinar alturas de precipitações efetivas acumuladas:

f.1) Com base nas alturas de precipitações acumuladas no passo anterior e usando o método do coeficiente CN para estimar o quanto dessa água será escoamento superficial, levando em conta o tipo e uso do solo.

f.2) Ampliar a ocupação urbana, simulando sua expansão no tempo de vida da obra, calcular as alturas de precipitações efetivas acumuladas.zerar as precipitações acumuladas menores que as perdas iniciais.

f.3) Calcular precipitações efetivas incrementais (diferença entre valores dos blocos).

g) Em casos específicos, a aplicação do método do CN resulta em valores muito baixos de escoamento superficial. Foi calculado o coeficiente de escoamento para a chuva no tempo de concentração. Caso o coeficiente de escoamento seja inferior a 0,2 para o tempo de recorrência de 10 anos e fosse inferior aos apresentados na Tabela 04, aplica-se o coeficiente tabelado multiplicado pela chuva total para os 8 eventos de chuva de cada tempo de recorrência.

h) Convolução: gerar o hidrograma do projeto pela convolução entre o hidrograma unitário (ordenadas) e as precipitações efetivas incrementais (abscissas). As precipitações efetivas

CÓDIGO <b>NT-32</b>	VERSÃO <b>01</b>	DATA DA APROVAÇÃO <b>27/03/2023</b>	USO EXCLUSIVO DA USPE <b>NOTA TÉCNICA</b>	PÁG. DE <b>14 17</b>
------------------------	---------------------	--	--	-------------------------

## METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).

incrementais são multiplicadas pelas vazões unitárias do HU. Na última coluna, somar as contribuições de cada linha (Tabela abaixo).

Tabela 10 – Exemplo de tabela para Convolução.

INTERVALO DE TEMPO (T)	CHUVA EFETIVA (mm)	TR 25 anos													Q ESC	Qmax (m³/s)
		ORDENADAS DO HIDROGRAMA UNITÁRIO (H)														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
		0,42	0,84	1,26	1,68	2,10	1,85	1,60	1,35	1,10	0,84	0,59	0,34	0,09		
1	1,77	0,74													0,74	→ 41,28
2	2,39	1,00	1,49												2,49	
3	3,82	1,60	2,01	2,23											5,84	
4	5,48	2,30	3,21	3,01	2,98										11,50	
5	5,27	2,22	4,60	4,81	4,02	3,72									19,37	
6	2,93	1,23	4,43	6,90	6,42	5,02	3,28								27,28	
7	2,03	0,85	2,46	6,65	9,20	8,02	4,42	2,83							34,44	
8	1,58	0,66	1,71	3,69	8,86	11,50	7,06	3,82	2,39						39,70	
9			1,33	2,56	4,92	11,08	10,13	6,10	3,22	1,94					41,28	
10				1,99	3,41	6,15	9,76	8,75	5,14	2,62	1,49				39,31	
11					2,65	4,26	5,42	8,43	7,37	4,18	2,02	1,05			35,38	
12						3,31	3,75	4,68	7,10	6,00	3,22	1,41	0,60		30,09	
13							2,92	3,24	3,94	5,78	4,62	2,26	0,81	0,16	23,73	
14								2,52	2,73	3,21	4,45	3,24	1,30	0,21	17,66	
15									2,12	2,22	2,47	3,12	1,86	0,34	12,14	
16										1,73	1,71	1,73	1,80	0,49	7,45	
17											1,33	1,20	1,00	0,47	4,00	
18												0,93	0,69	0,26	1,88	
19													0,54	0,18	0,72	
20														0,14	0,14	

- i) Resultado da Convolução corresponde ao maior valor na última coluna na tabela da convolução corresponde à vazão máxima estimada a partir da chuva, no Tempo de Recorrência. A chuva de projeto deve ser repetida para cada TR. Pode também ser necessário considerar outra condição de uso e cobertura do solo na bacia.

### 5.3.6 Processo P.03 – Ajuste Estatístico (cotas e vazões):

- O método do Ajuste Estatístico recorre à série histórica de uma estação fluviométrica para obter cotas ou vazões de cheia, a frequência das inundações e os tempos de recorrência.
- Obter séries históricas de estações fluviométricas:
  - Em rio estadual acessar o site oficial do AguasParaná (obrigatório).
  - Em rio federal ou rios em outros estados acessar ANA (Hidroweb).
- Selecionar estação fluviométrica: situada na mesma Unidade Hidrográfica:
  - Distante até 100 (cem) km do local em estudo.
  - Com área de drenagem até 04 (quatro) vezes maior/menor que a da bacia em estudo
  - Com ao menos 10 (dez) anos de dados consistidos (o número de anos é definido pelo

CÓDIGO	VERSÃO	DATA DA APROVAÇÃO	USO EXCLUSIVO DA USPE	PÁG.	DE
NT-32	01	27/03/2023	NOTA TÉCNICA	15	17

## METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).

tempo decorrido desde a instalação da estação fluviométrica, subtraindo-se o número de anos descartados na análise de falhas):

c.3.1) Que possuam 02 (duas) leituras diárias ou a média diária dessas leituras.

c.3.2) Até 10% de falhas nos registros de cada ano.

c.3.2.1) Preencher estas falhas por interpolação linear.

c.2.2.2) Em casos justificados poderão ser incluídos anos que superem o critério de 10% de falhas, desde que sejam anos que possuam vazões muito altas (importantes para a determinação da vazão máxima e a cota de inundação).

d) Não se cumprindo as condições acima, aplicar Hidrograma Unitário.

e) Calcular a vazão máxima instantânea:

e.1) Listar as vazões máximas ocorridas em cada ano.

e.2) A cada vazão máxima anual, determinar vazão máxima instantânea (Fill, 2003).

e.3) Sendo que:  $Q_{\max}$  - vazão máxima instantânea.  $Q_2$  - vazão média diária do dia em que ocorre o pico.  $Q_1$  - vazão média diária do dia anterior;  $Q_3$  - vazão média diária do dia posterior;  $\hat{k}$  - estimador do parâmetro  $k$ .

$$Q_{\max} = \frac{[0,8 \cdot Q_2 + 0,25 \cdot (Q_1 + Q_3)]}{k} \quad (\text{Equação 08})$$

$$\hat{k} = 0,9123 \cdot \left( \frac{Q_1 + Q_3}{2 \cdot Q_2} \right) + 0,3620 \quad (\text{Equação 09})$$

f) Proceder análise estatística dos valores obtidos no passo anterior:

f.1) Calcular a média, o desvio-padrão e assimetria da série de máximos anuais.

f.2) Realizar avaliação de Outliers. E

f.3) Escolher uma distribuição estatística para Extremos Máximos privilegiando a de melhor ajuste às vazões máximas observadas.

f.3.1) Pode-se utilizar o aplicativo SEAF (UFMG) nas distribuições Gumbel, Log Pearson-III, Pearson-III, Exponencial, Generalizada de Valores Extremos e Generalizada de Pareto.

f.3.2) Deve-se apresentar gráfico com a comparação entre a distribuição empírica e as

CÓDIGO	VERSÃO	DATA DA APROVAÇÃO	USO EXCLUSIVO DA USPE	PÁG.	DE
NT-32	01	27/03/2023	NOTA TÉCNICA	16	17

## METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).

demais distribuições. Apresentar em gráfico separa a extrapolação.

- g) Vazão de projeto: Utilizar a distribuição estatística para obter as vazões máximas de projeto nos Tempos de Recorrência (TR) definidos na Tabela 01.
- h) Ajuste à área de drenagem: As vazões de projeto, referenciadas à bacia da estação fluviométrica, devem ser ajustadas à área de drenagem do local em estudo na forma descrita abaixo. Sendo que  $A_1$  – Área de drenagem do local do estudo ( $\text{km}^2$ ).  $A_2$  – Área de drenagem da estação fluviométrica ( $\text{km}^2$ ).  $Q_1$  – Vazão do local em estudo ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).  $Q_2$  – Vazão da estação fluviométrica existente ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$$Q_1 = \frac{A_1}{A_2} \cdot Q_2 \quad (\text{Equação 10})$$

- i) Resultado: vazões máximas por Tempo de recorrência – TR com ajuste à área de drenagem.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Esta Nota Técnica pode ser alterada sempre que for necessário.

## 7 REFERÊNCIAS

- ASCE (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS). **Design and Construction of sanitary and storm sewers**. New York (Manuals and Reports of Engineering Practice, 37). 1969.
- FENDRICH, R. **Chuvvas Intensas para obras de drenagem no Estado do Paraná**. Curitiba: Champagnat, 99p. 2011
- FILL, H.D.; STEINER, A.A. **Estimativa do Hidrograma Instantâneo e da Vazão Máxima de Enchentes a Partir de Vazões Médias Diárias**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 8 n.3 Jul/Set 2003, 17-27.
- PINTO, E. J. A. **Atlas pluviométrico do Brasil: metodologia para definição das equações intensidade-duração-frequência do Projeto Atlas Pluviométrico**. CPRM. 2013
- SANEPAR (COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ). **Resolução Interna nº091/2007**: Diretrizes para definição da cota de assente de estruturas de saneamento visando a sua proteção a inundações. 2007.
- SILVEIRA, A. L. L. **Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS. 2005. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 10 n. 1.
- TORRICO, J. J. T. **Práticas hidrológicas**. Rio de Janeiro, TRANSCON, 119p. 1974.
- TUCCI, E. M. *et al.* **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 1995.
- WILKEN, P. S. **Eng. de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB 477p. 1978.



CÓDIGO <b>NT-32</b>	VERSÃO <b>01</b>	DATA DA APROVAÇÃO <b>27/03/2023</b>	USO EXCLUSIVO DA USPE <b>NOTA TÉCNICA</b>	PÁG. <b>17</b>	DE <b>17</b>
------------------------	---------------------	--	--	-------------------	-----------------

## METODOLOGIAS PARA DETERMINAR EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS (SECAS SEVERAS E CHEIAS EXTREMAS).

### 8 RESPONSÁVEL(IS) PELA NOTA TÉCNICA E CONTROLE DE REVISÕES

Tabela 11 – Controle de revisões.

Rev.	Data	Descrição:	Elaboração:	Aprovação:
01	13/12/2022	Emissão inicial.	Engº. Nicolás Lopardo CREA: PR-55.584/D GPDA Engº. Luciano Rodrigues Penido CREA: PR-86.147/D GGAM	Engº. Pedro Luis Prado Franco CREA: PR-21.298/D GPDA Engº. Rafael Cabral Gonçalves. CREA: PR-87.211/D GGAM