

CONDOMÍNIO OLIVEIRA

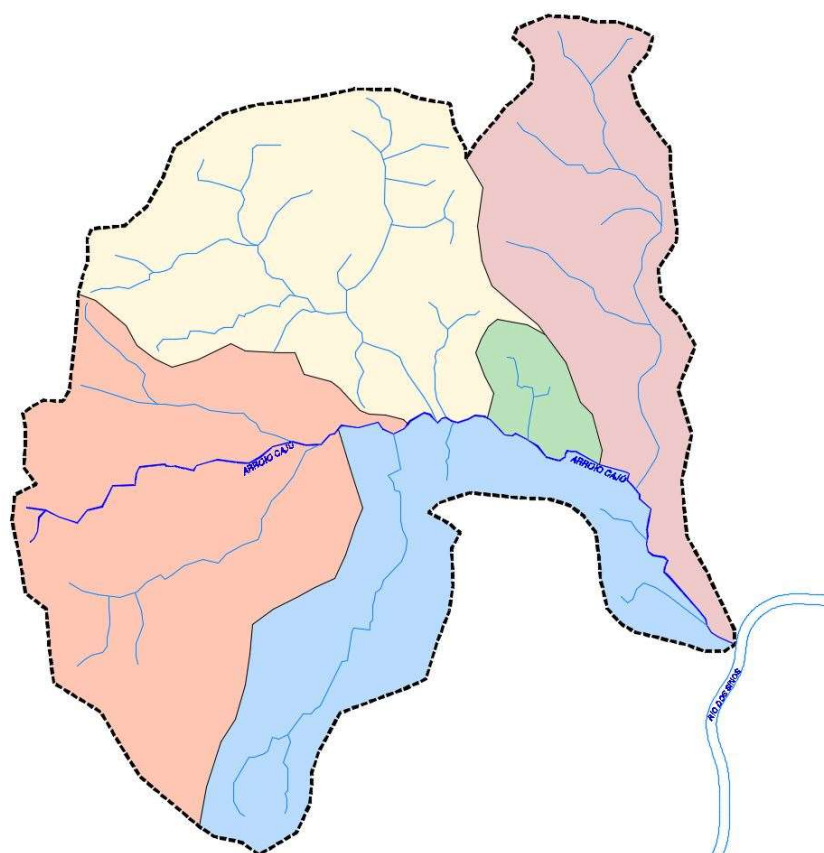
Av. Nova Santa Rita, s/n, Nova Santa Rita - RS



ÁBACO INCORPORAÇÕES IMOBILIÁRIAS LTDA

ESTUDO DE MACRODRENAGEM DO ARROIO CAJÚ

REVISÃO 00



Porto Alegre, outubro de 2023

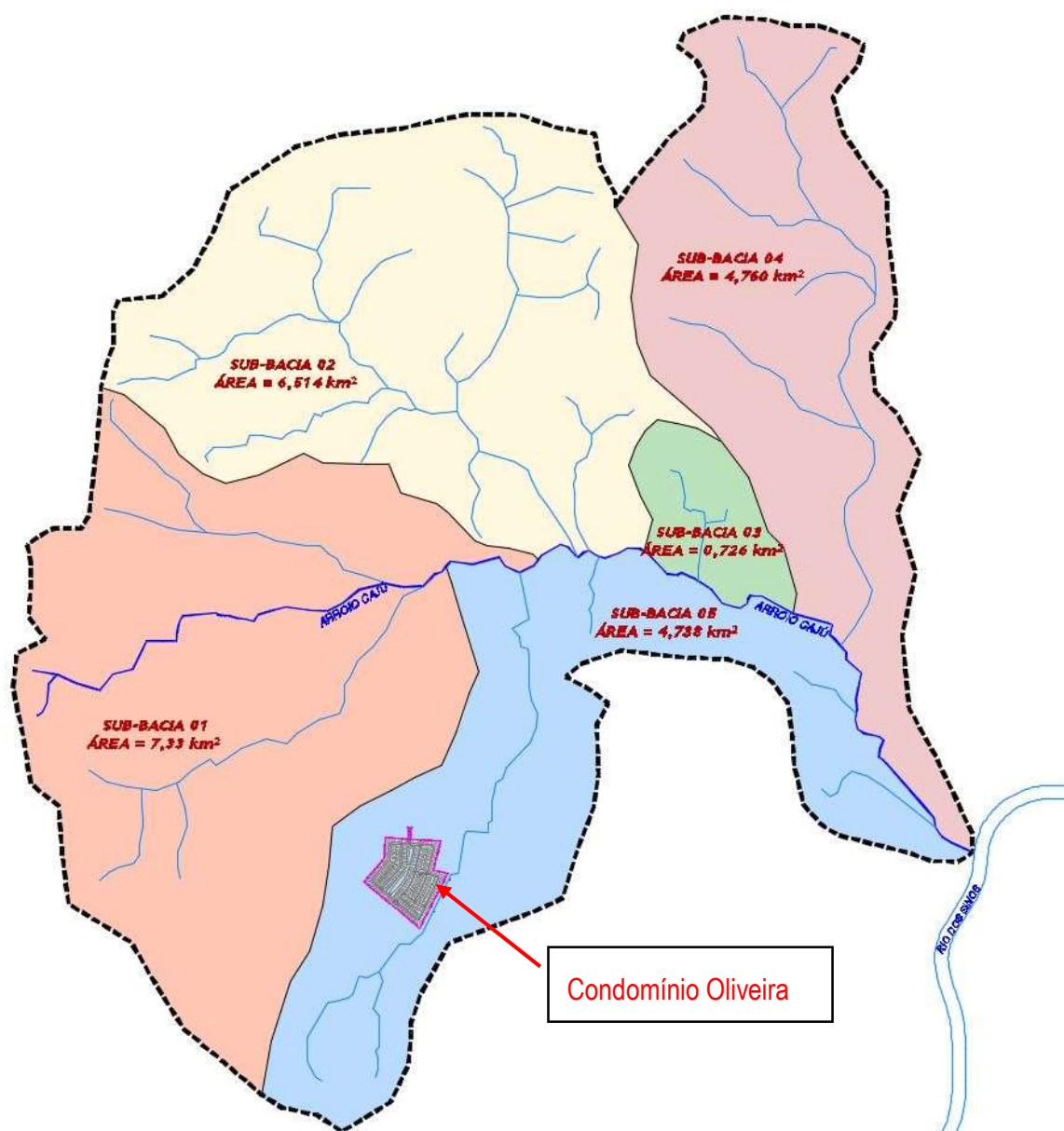
ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	Orientações Normativas para o Projeto	4
1.2	Referências Bibliográficas de Apoio	4
2	ESTUDO HIDROLÓGICO	5
2.1	Delimitação da Bacia Hidrográfica de Contribuição	5
2.2	Parâmetros, Condições de Contorno e Dimensionamento Hidrológico das Sub-Bacias Hidrológicas do Arroio Cajú	6
2.2.1	Tempo de concentração	6
2.2.2	Intensidade máxima de chuva	7
2.2.3	Hidrograma e hietograma de projeto	7
2.3	Resultados das Simulações Hidrológicas das Sub-bacias do Arroio Cajú	9
2.3.1	SUB-BACIA 01	9
2.3.2	SUB-BACIA 02	13
2.3.3	SUB-BACIA 03	16
2.3.4	SUB-BACIA 04	20
2.3.5	SUB-BACIA 05	23
2.3.6	QUADRO RESUMO	27
3	ESTUDO HIDRÁULICO DO ARROIO CAJÚ	27
3.1	Regime de Escoamento e Formulação Matemática	29
3.1.1	Regime de Escoamento	29
3.1.2	Simulação Hidrodinâmica e Formulação Matemática	30
3.2	Seções de Escoamento Projetadas	30
3.3	Lâmina Máxima d'água Atingida pelo Arroio – TR 25 Anos	32
3.4	Dimensionamento das Galerias Existentes	41
3.4.1	Equação da Capacidade da Canalização	41
3.4.2	Equação da Velocidade de Escoamento da Canalização	43
3.4.3	Resultados do Dimensionamento	43
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
5	ANEXOS	45

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo tem por objetivo determinar e dimensionar os parâmetros hidrológicos e hidráulicos (macrodrenagem) da bacia hidrográfica do Arroio Caju, localizado no município de Nova Santa Rita, com área tributária total de 24,068 km² subdividido em 05 sub-bacias principais, conforme elucidado na Figura 01 abaixo:

Figura 01: Bacia Hidrográfica do Arroio Caju



Fonte: AutoCAD Civil 3D® (2023).

O referido arroio drena boa parte das precipitações ocorrentes no município de Nova Santa Rita que vão desde o centro urbano até a zona norte rural da cidade, atuando como afluente (sub-bacia) do Rio dos Sinos.

O presente estudo é parte da contrapartida estabelecida entre a empresa Ábaco Incorporações Imobiliárias Ltda e a Prefeitura Municipal de Nova Santa Rita para implantação do Condomínio Oliveira, situado na Estrada Santa Rita ao Caju, que está inserido na sub-bacia 05 afluente do arroio principal conforme indicado na Figura 01 acima.

Especificamente, o estudo tratará de atender ao “*TERMO DE REFERÊNCIA PARA OS ESTUDOS NECESSÁRIOS A SEREM APRESENTADOS QUANTO AO ARROIO CONTRIBUINTE DA SUB-BACIA DO ARROIO CAJU*” emitido pela Prefeitura Municipal de Nova Santa Rita / RS.

1.1 Orientações Normativas para o Projeto

As normas orientativas para o presente projeto são as seguintes:

- Plano diretor de drenagem urbana (PDDrU). Sistema de proteção contra enchentes. DEP/PMPA/IPH/UFRGS. Porto Alegre, 2002;
- Caderno de encargos do Departamento de Esgotos Pluviais – DEP. Decreto 14.786 de 30 de dezembro de 2004. Porto Alegre: PMPA, 2005;

1.2 Referências Bibliográficas de Apoio

As bibliografias consultadas para o presente projeto foram as seguintes:

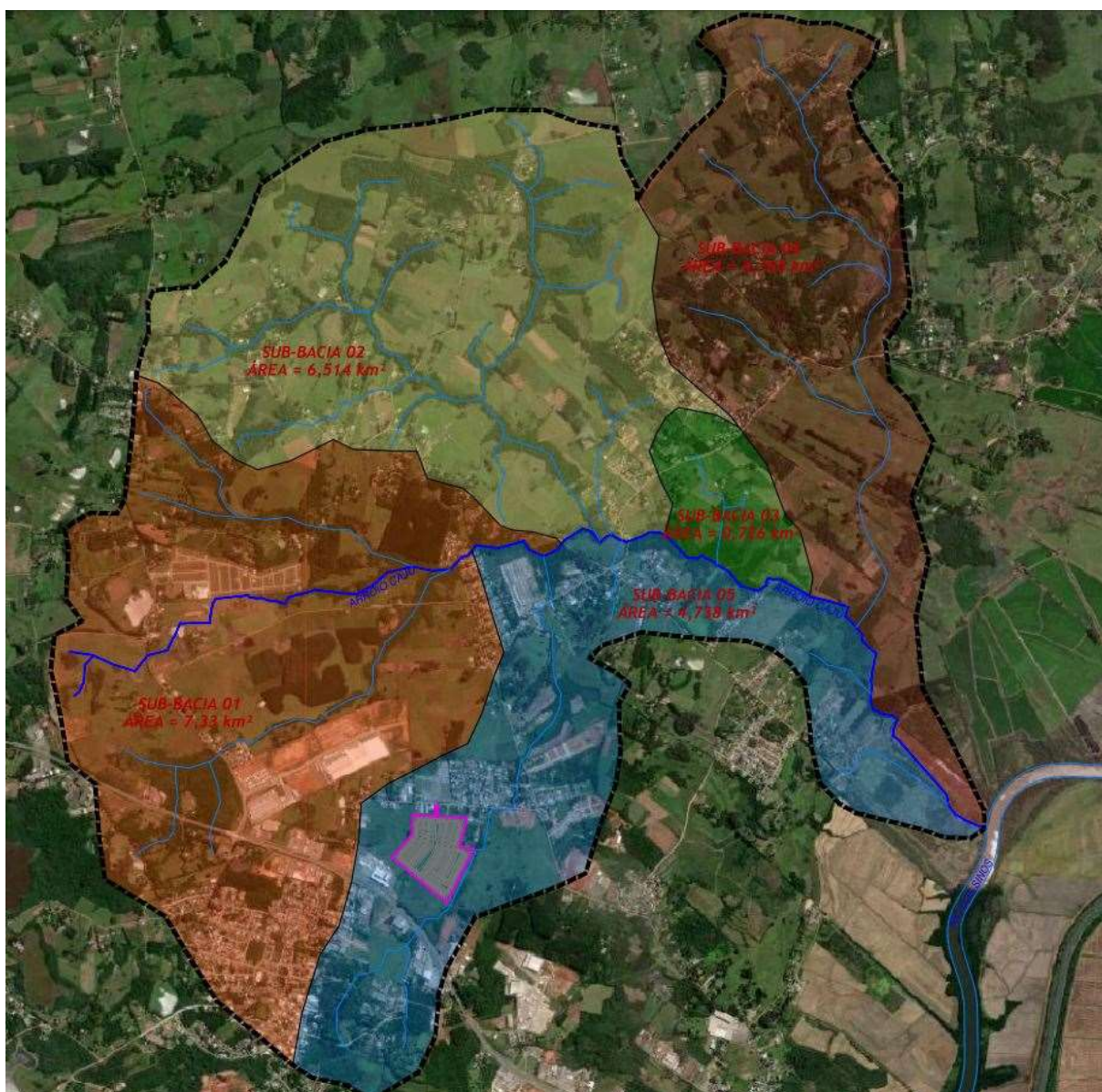
- TUCCI, C.E.M. et al. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre, UFRGS, 2009;
- USACE – U. S. Army Corps of Engineers. HEC-HMS: Hydrologic Modeling System User's Manual. Version 4.3, USA, 2018.
- USACE – U. S. Army Corps of Engineers. HEC-RAS: River Analysis System. Hydraulic Reference Manual. Version 5.0, USA, 2016.

2 ESTUDO HIDROLÓGICO

2.1 Delimitação da Bacia Hidrográfica de Contribuição

A delimitação da bacia hidrográfica de contribuição do Arroio Cajú, objeto do estudo, foi feita com os dados de geoprocessamento disponíveis no site do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey*). De posse dessas informações, importou-se as curvas de níveis do município de Nova Santa Rita que permitiram a delimitação da bacia hidrográfica de contribuição do córrego no seu trecho de montante e de jusante (trecho estudado), conforme a Figura 02 abaixo:

Figura 02: Bacia Hidrográfica de Contribuição do Arroio Cajú



Fonte: Google Earth (2020).

A bacia tributária total do Arroio Cajú possui 24,068 km² subdivididas em 05 sub-bacias, sendo elas:

- ➔ Sub-bacia 01: 7,330 km²;
- ➔ Sub-bacia 02: 6,514 km²;
- ➔ Sub-bacia 03: 0,726 km²;
- ➔ Sub-bacia 04: 4,760 km²;
- ➔ Sub-bacia 05: 4,738 km²;

O Condomínio Oliveira está inserido na sub-bacia 05 entre a BR-386 e Rua Santa Rita ao Caju.

2.2 Parâmetros, Condições de Contorno e Dimensionamento Hidrológico das Sub-Bacias Hidrológicas do Arroio Cajú

Os parâmetros e condições de contorno para determinação do modelo hidrológico de cada sub-bacia do Arroio Cajú foram determinados de acordo com a sistemática descrita abaixo:

- a) Área contribuinte total: 24,068 km² (subdivididos em 05 sub-bacias);
- b) Tempo de Duração da Simulação (td) = 1440 min (24 horas);
- c) Cenário: Ocupação Atual e Futura;
- d) Tempo de recorrência: TR 5, 10, 25 e 50 anos;
- e) Regime de Escoamento: Não permanente.

2.2.1 Tempo de concentração

O tempo de concentração foi calculado através da fórmula de Kirpich, conforme CE-DEP/2005:

$$tc = 0,01947x \frac{L^{0,77}}{I^{0,385}} \quad \text{Equação 01}$$

Onde:

tc: tempo de concentração (minutos);

L: comprimento do talvegue ou rede contribuinte (m);

I: declividade média (m/m);

2.2.2 Intensidade máxima de chuva

A intensidade máxima de chuva foi calculada através da equação do Posto Aeroporto, sendo:

$$Imáx = \frac{(826,8 \times TR^{0,143})}{(td+13,3)^{0,79}} \quad \text{Equação 02}$$

Imáx = intensidade máxima de chuva (mm/h);

TR = período de retorno em anos;

td = tempo de duração da chuva, considerado igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica de contribuição (min)

2.2.3 Hidrograma e hietograma de projeto

Para a determinação da vazão máxima de contribuição foi utilizado o Método do Hidrograma Unitário (HU) do *Soil Conservation Service* (SCS, 1976), de acordo com CE-DEP/2005, conforme as equações abaixo:

$$a) \quad \Delta t = \frac{tc}{5} \quad \text{Equação 03}$$

$$b) \quad tp = 0,60 \times tc \quad \text{Equação 04}$$

$$c) \quad t'p = \frac{\Delta t}{2} + tp \quad \text{Equação 05}$$

$$d) \quad tb = tp + t'p \quad \text{Equação 06}$$

$$e) \quad tr = 1,67 \times t'p \quad \text{Equação 07}$$

$$f) \quad qp = \frac{2,08 \times A}{t'p} \quad \text{Equação 08}$$

Onde:

tc = tempo de concentração;

tp = tempo de pico;

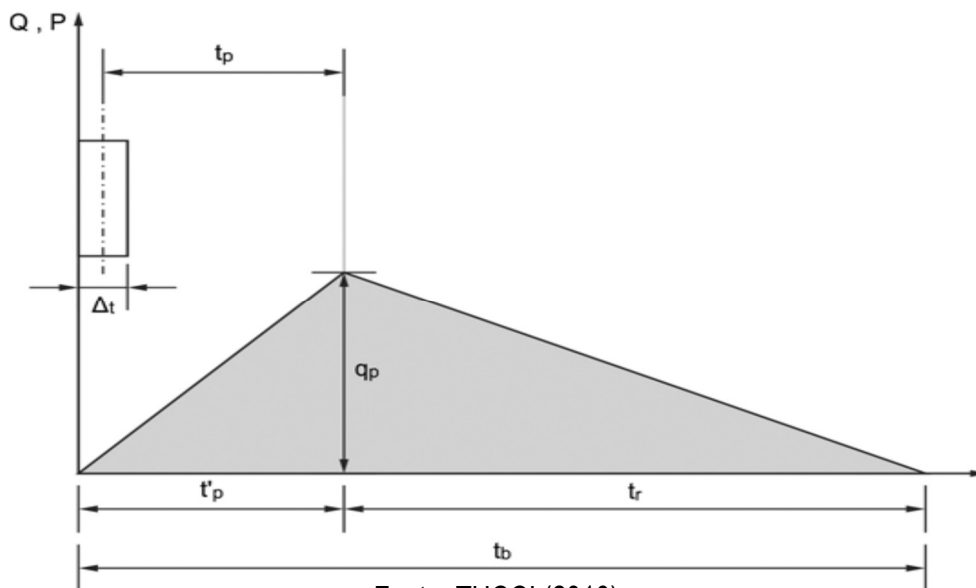
tb = tempo de base;

tr = tempo de recessão;

qp = vazão de pico do hidrograma triangular;

As equações acima descrita são elucidadas conforme a Figura 05 abaixo.

Figura 05: Hidrograma Sintético Triangular (HU)



Fonte: TUCCI (2010).

Utilizou-se o modelo Curva Número (CN) que trata de um valor composto que representa todos os diferentes grupos de solos e suas ocupações na terra, para estimar o escoamento superficial na subbacia (HEC-HMS, 2018), conforme a Equação 09:

$$S = \frac{2500}{CN} - 254 \quad \text{Equação 09}$$

Foi feito o levantamento da ocupação e tipo de solo de todas as sub-bacias para determinação do coeficiente Curva Número (CN) com base na Tabela 01 abaixo:

Tabela 01: Estimativa de Valores de CN

Estimativa de escoamento superficial (Valores de CN para grupos hidrogeológicos de solo)

Condições	A	B	C	D
Florestas	41	63	74	80
Campos	65	75	83	85
Plantações	62	74	82	87
Zona Comercial	89	92	94	95
Zona Industrial	81	88	91	93
Zona Residencial	77	85	90	92

- CN (Curva-Número) é um parâmetro que caracteriza o uso e ocupação do solo, utilizado no Método do Soil Conservation Service (SCS), que possui grande influência na determinação da precipitação efetiva. Ele é muito importante, por exemplo, no dimensionamento da drenagem urbana, o que influencia no custo da rede de drenagem.

Para a separação do escoamento superficial, para fins de determinação da precipitação efetiva (Pe), utilizou-se o método SCS (1957), para $P > 0,2 S$.

$$Pe = \frac{(P - 0,2 \times S)^2}{(P + 0,8 \times S)}$$

Equação 10

Sendo:

P = precipitação total (mm);

Pe = precipitação efetiva (mm);

S = armazenamento no solo.

Após determinação dos hietogramas obtidos a partir do processamento do hidrograma unitário sintético triangular (HU), foram gerados os hidrogramas pelo processo de convolução, como descrito em Tucci (2010), para a bacia de contribuição de maneira a se obter as vazões máximas de pico para o tempo de retorno considerado além dos volumes acumulados e retidos nos canais.

2.3 Resultados das Simulações Hidrológicas das Sub-bacias do Arroio Cajú

Abaixo seguem os resultados do dimensionamento hidrológico para as 05 sub-bacias do Arroio Cajú:

2.3.1 SUB-BACIA 01

Tabela 02: Cálculo do coeficiente CN

Condição	Área (km²)	Percent (%)	Coeficiente CN
Floresta	1,49	0,20	63
Campo	3,62	0,49	75
Plantações	0,40	0,05	74
Zona Industrial	0,65	0,09	88
Zona Residencial	1,17	0,16	85
Total	7,33		

CN (médio) 75,23792633

CN (adotado) 75

Fonte: O AUTOR (2023).

Tabela 03: Parâmetros Hidrológicos Definidos e Calculados

Parâmetros Hidrológicos da Sub-bacia	
Área (km²)	7,3300 km²
I (m/m)	0,0170 m/m
L talvegue (m)	3441,00 m
CN	75
C (runoff)	0,60
n (Manning)	0,0150
Tempo de Retorno	10 anos
S (mm)	84,6667 mm

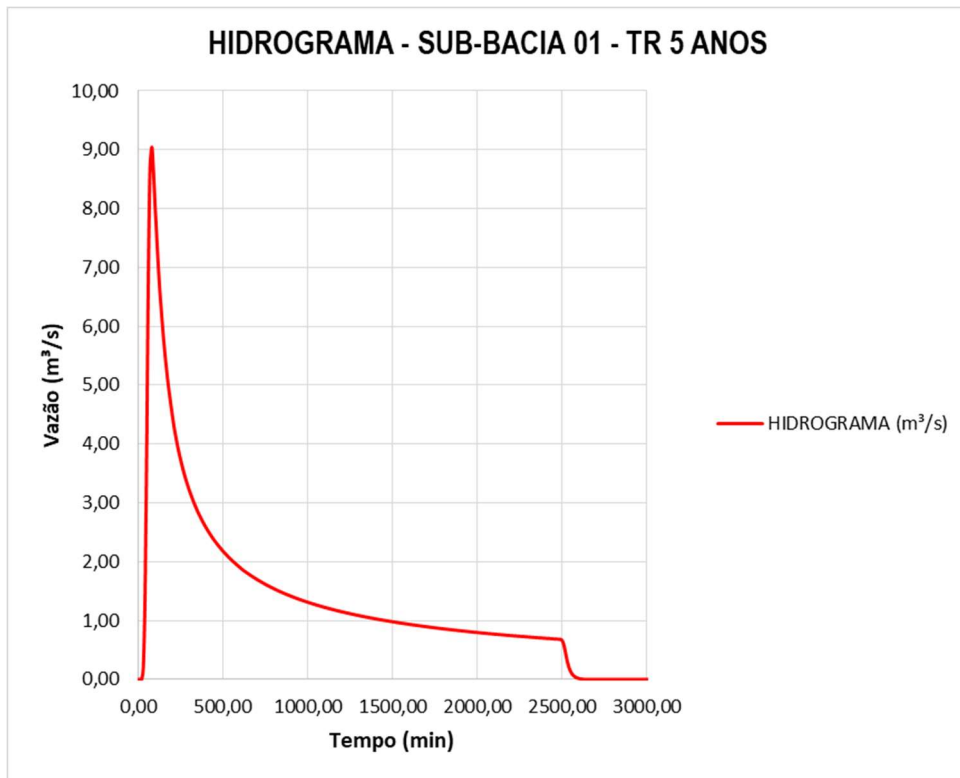
Fonte: O AUTOR (2023).

Tabela 04: Parâmetros Hidrograma Unitário Trinagular

Parâmetros Hidrograma Unitário Triangular	
Tempo de Concentração - <i>tc</i>	49,42 min
	0,82 h
Duração da Chuva - <i>td</i>	1440,00 min
	24,00 h
<i>Δt</i> (intervalo de tempo)	9,88 min
	10,00 adot. (min)
	0,17 h
Número de Intervalos	144,00 intervalos
	144,00 intervalos
Tempo de pico - <i>tp</i>	0,49 h
	29,65 min
Tempo de pico - <i>t'p</i>	0,58 h
	34,65 min
Tempo de recessão - <i>tr</i>	0,96 h
	57,87 min
Tempo de base - <i>tb</i>	1,54 h
	92,52 min
Descarga de Pico - <i>q</i>	26,43 m³/s.mm

Fonte: O AUTOR (2023).

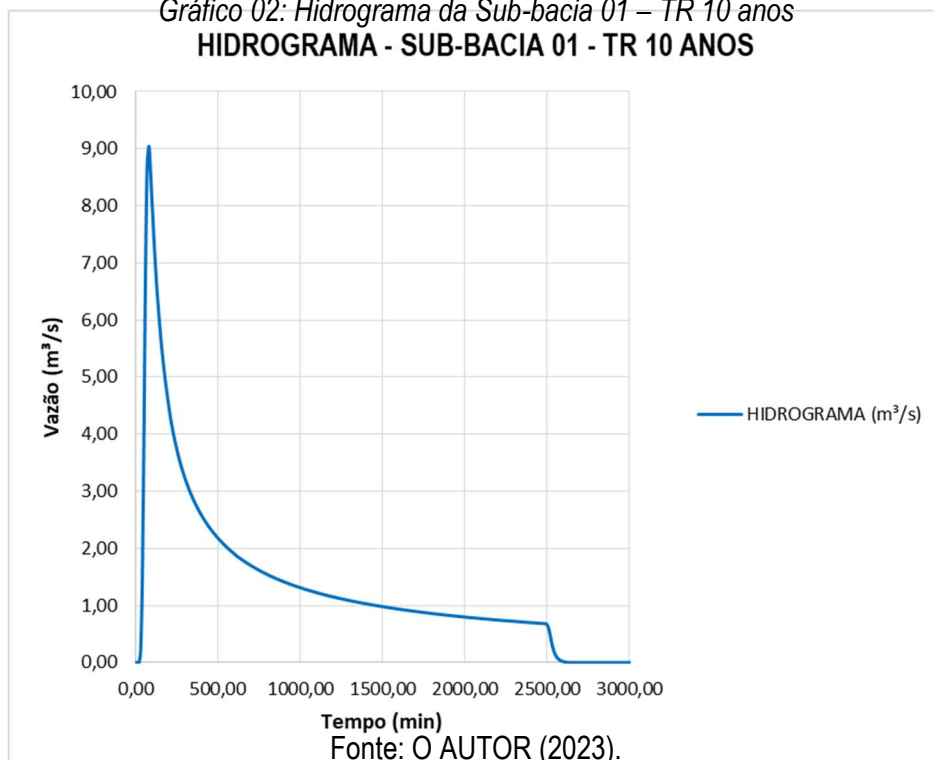
Gráfico 01: Hidrograma da Sub-bacia 01 – TR 5 anos



Fonte: O AUTOR (2023).

$$Q(\text{máx}) = 7,71 \text{ m}^3/\text{s}$$

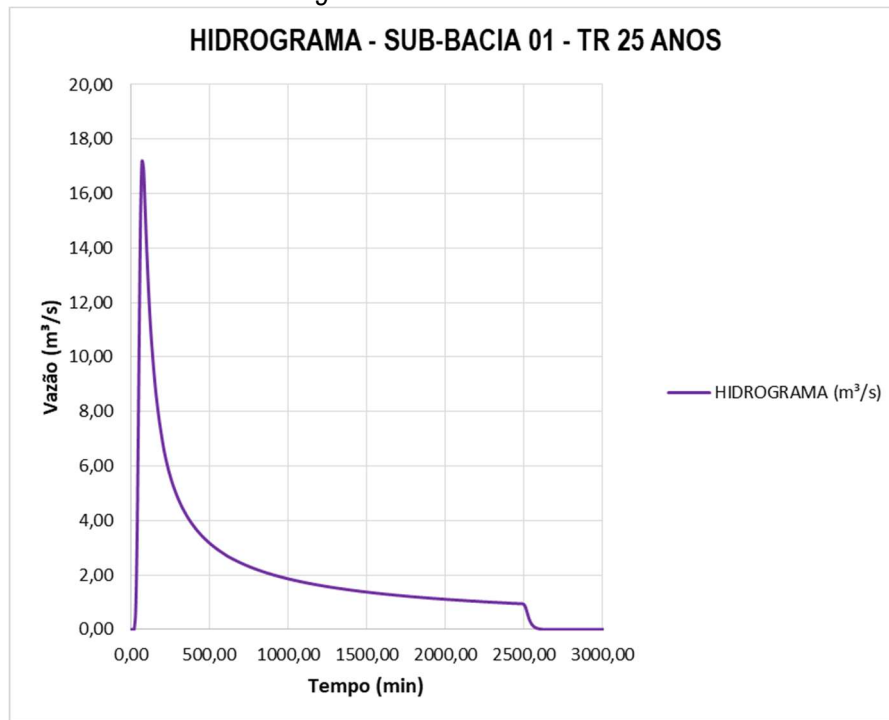
Gráfico 02: Hidrograma da Sub-bacia 01 – TR 10 anos
HIDROGRAMA - SUB-BACIA 01 - TR 10 ANOS



Fonte: O AUTOR (2023).

$$Q(\text{máx}) = 9,04 \text{ m}^3/\text{s}$$

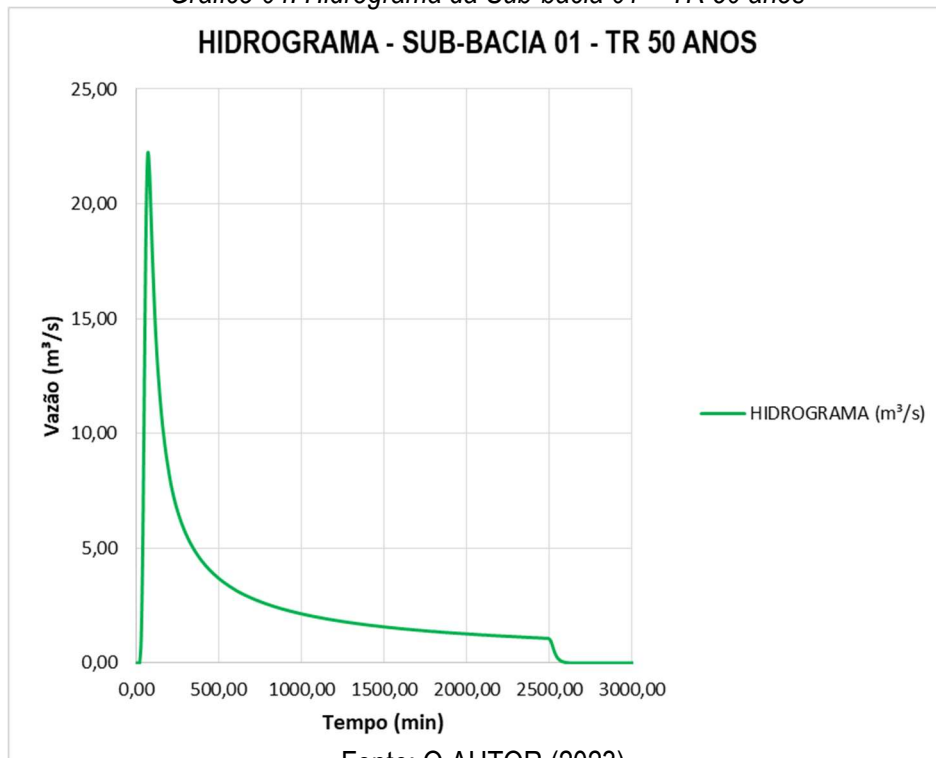
Gráfico 03: Hidrograma da Sub-bacia 01 – TR 25 anos



Fonte: O AUTOR (2023).

$$Q(\text{máx}) = 17,18 \text{ m}^3/\text{s}$$

Gráfico 04: Hidrograma da Sub-bacia 01 – TR 50 anos



Fonte: O AUTOR (2023).

$$Q(\text{máx}) = 22,19 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.3.2 SUB-BACIA 02

Tabela 05: Cálculo do coeficiente CN

Condição	Área (km²)	Percent (%)	Coeficiente CN
Floresta	1,16	0,18	63
Campo	3,92	0,60	75
Plantações	0,65	0,10	74
Zona Industrial	0,00	0,00	88
Zona Residencial	0,78	0,12	85
Total	6,51		

CN (médio) 73,91464538

CN (adotado) 73

Fonte: O AUTOR (2023).

Tabela 06: Parâmetros Hidrológicos Definidos e Calculados

Parâmetros Hidrológicos da Sub-bacia	
Área (km²)	6,5140 km²
I (m/m)	0,0270 m/m
L talvegue (m)	3317,00 m
CN	73
C (runoff)	0,60
n (Manning)	0,0150
Tempo de Retorno	10 anos
S (mm)	93,9452 mm

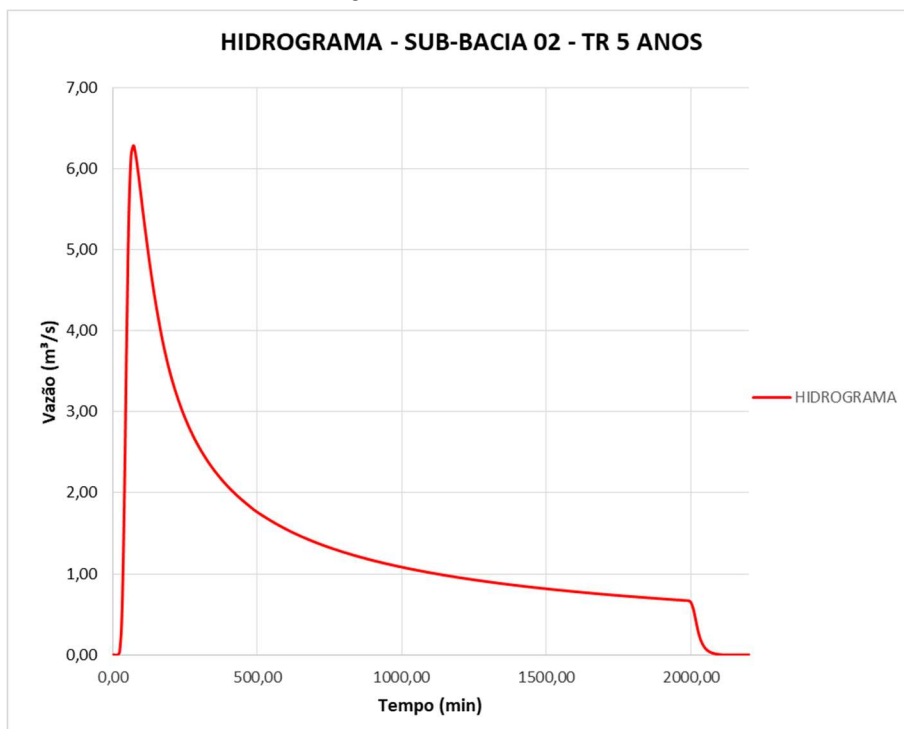
Fonte: O AUTOR (2023).

Tabela 07: Parâmetros Hidrograma Unitário Trinagular

Parâmetros Hidrograma Unitário Triangular	
Tempo de Concentração - t_c	40,20 min 0,67 h
Duração da Chuva - t_d	1440,00 min 24,00 h
Δt (intervalo de tempo)	8,04 min 8,00 adot. (min) 0,13 h
Número de Intervalos	180,00 intervalos 180,00 intervalos
Tempo de pico - t_p	0,40 h 24,12 min
Tempo de pico - t'_p	0,47 h 28,12 min
Tempo de recessão - t_r	0,78 h 46,96 min
Tempo de base - t_b	1,25 h 75,09 min
Descarga de Pico - q	28,94 m ³ /s.mm

Fonte: O AUTOR (2023).

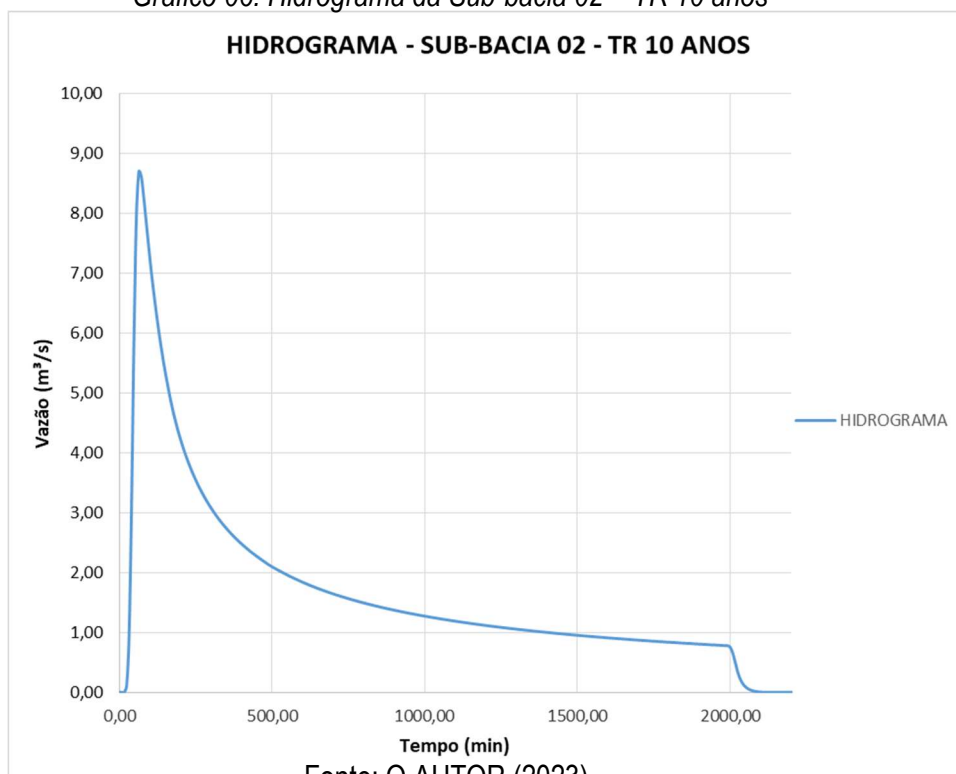
Gráfico 05: Hidrograma da Sub-bacia 02 – TR 5 anos



Fonte: O AUTOR (2023).

$Q(\text{máx}) = 6,29 \text{ m}^3/\text{s}$

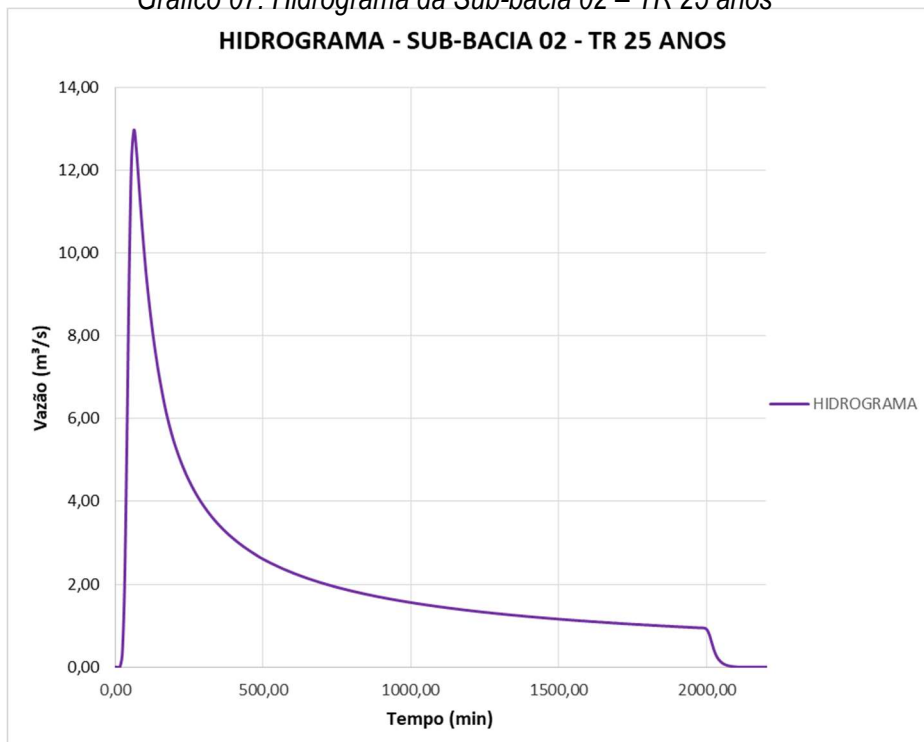
Gráfico 06: Hidrograma da Sub-bacia 02 – TR 10 anos



Fonte: O AUTOR (2023).

$Q(\text{máx}) = 8,69 \text{ m}^3/\text{s}$

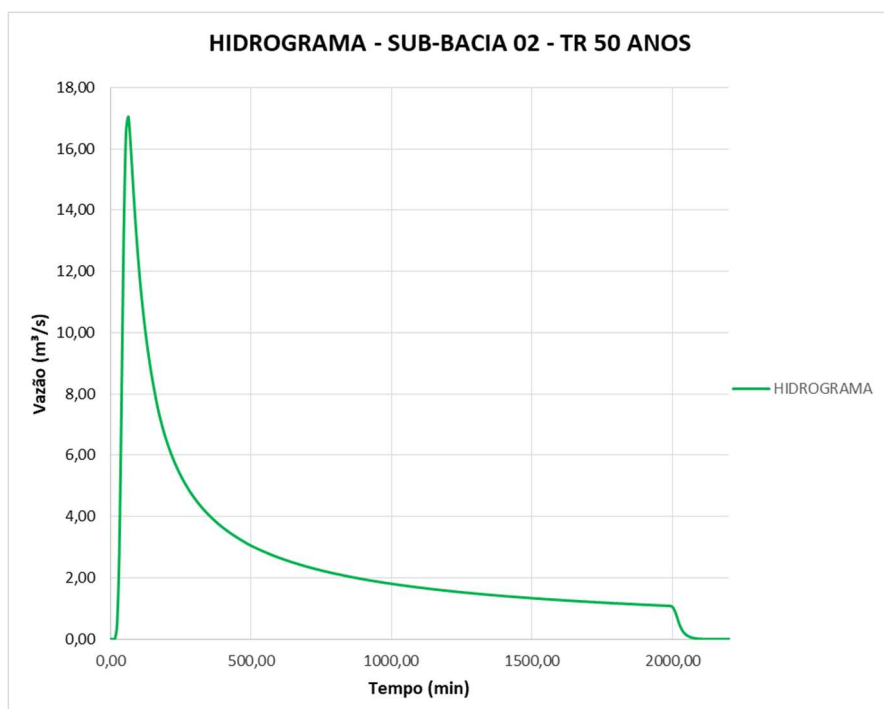
Gráfico 07: Hidrograma da Sub-bacia 02 – TR 25 anos



Fonte: O AUTOR (2023).

$Q(\text{máx}) = 12,98 \text{ m}^3/\text{s}$

Gráfico 08: Hidrograma da Sub-bacia 02 – TR 50 anos



Fonte: O AUTOR (2023).

$Q(\text{máx}) = 17,05 \text{ m}^3/\text{s}$

2.3.3 SUB-BACIA 03

Tabela 08: Cálculo do coeficiente CN

Condição	Área (km²)	Percent (%)	Coeficiente CN
Floresta	0,19	0,26	63
Campo	0,24	0,33	75
Plantações	0,24	0,33	74
Zona Industrial	0,00	0,00	88
Zona Residencial	0,06	0,08	85
Total	0,73		
CN (médio)			72,76859504
CN (adotado)			72

Fonte: O AUTOR (2023).

Tabela 09: Parâmetros Hidrológicos Definidos e Calculados

Parâmetros Hidrológicos da Sub-bacia	
Área (km²)	0,7260 km²
I (m/m)	0,0263 m/m
L talvegue (m)	1066,00 m
CN	72
C (runoff)	0,60
n (Manning)	0,0150
Tempo de Retorno	10 anos
S (mm)	98,7778 mm

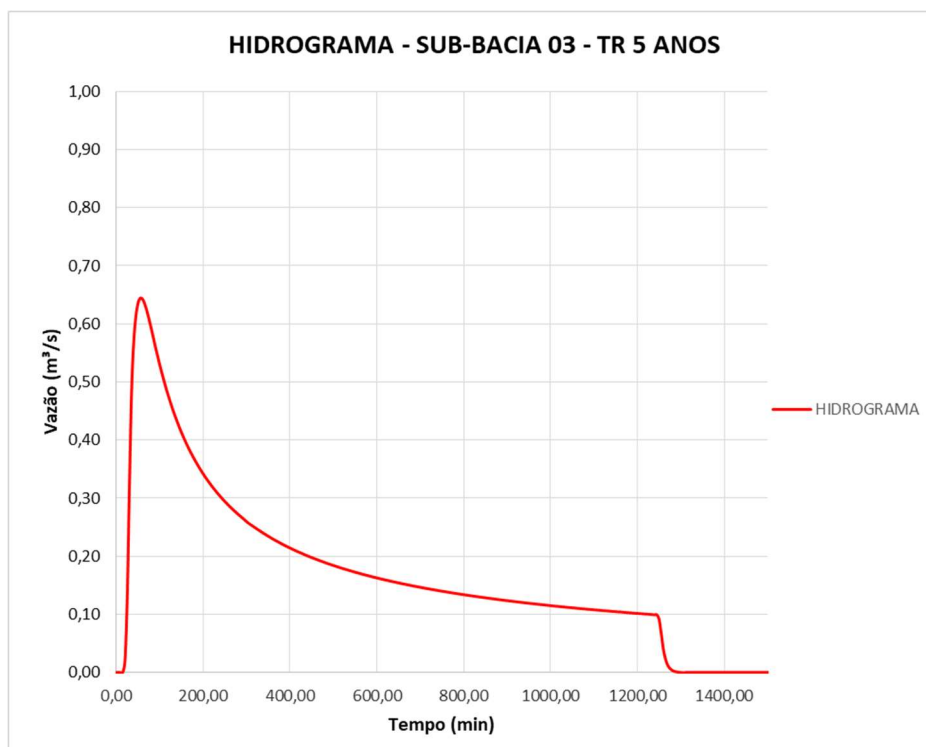
Fonte: O AUTOR (2023).

Tabela 10: Parâmetros Hidrograma Unitário Trinagular

Parâmetros Hidrograma Unitário Triangular	
Tempo de Concentração - <i>tc</i>	16,95 min 0,28 h
Duração da Chuva - <i>td</i>	1440,00 min 24,00 h
Δt (intervalo de tempo)	3,39 min 5,00 adot. (min) 0,08 h
Número de Intervalos	288,00 intervalos 288,00 intervalos
Tempo de pico - <i>tp</i>	0,17 h 10,17 min
Tempo de pico - <i>t'p</i>	0,21 h 12,67 min
Tempo de recessão - <i>tr</i>	0,35 h 21,15 min
Tempo de base - <i>tb</i>	0,56 h 33,82 min
Descarga de Pico - <i>q</i>	7,16 m³/s.mm

Fonte: O AUTOR (2023).

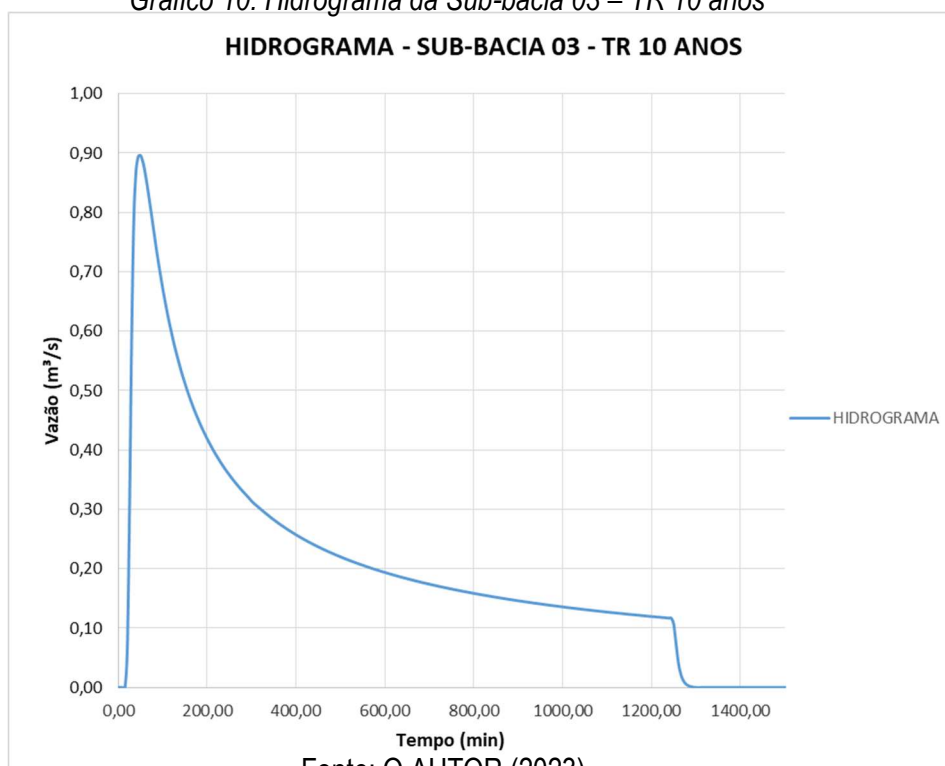
Gráfico 09: Hidrograma da Sub-bacia 03 – TR 5 anos



Fonte: O AUTOR (2023).

$Q(\text{máx}) = 0,64 \text{ m}^3/\text{s}$

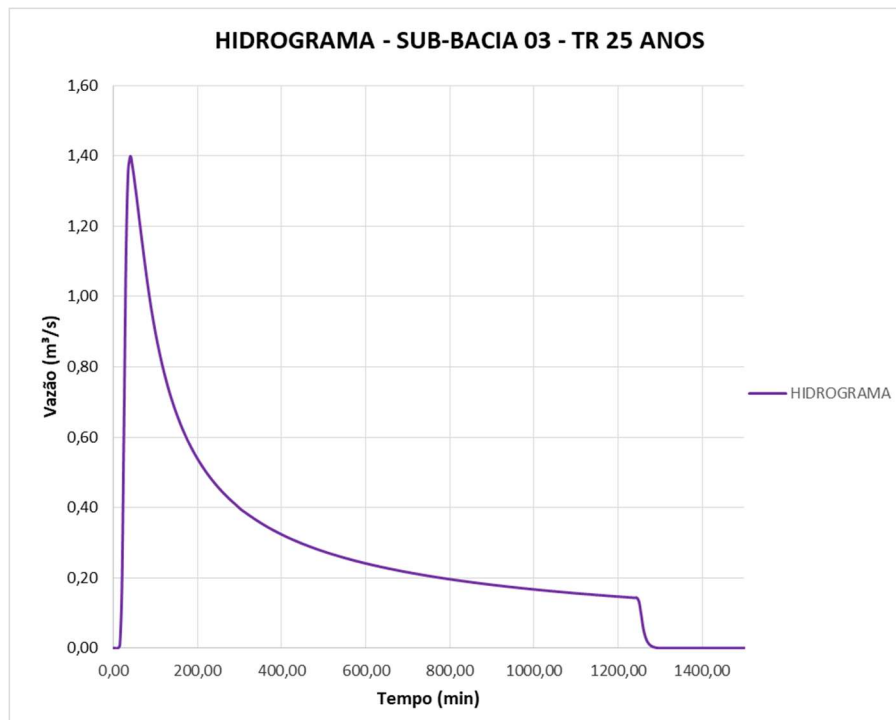
Gráfico 10: Hidrograma da Sub-bacia 03 – TR 10 anos



Fonte: O AUTOR (2023).

$Q(\text{máx}) = 0,90 \text{ m}^3/\text{s}$

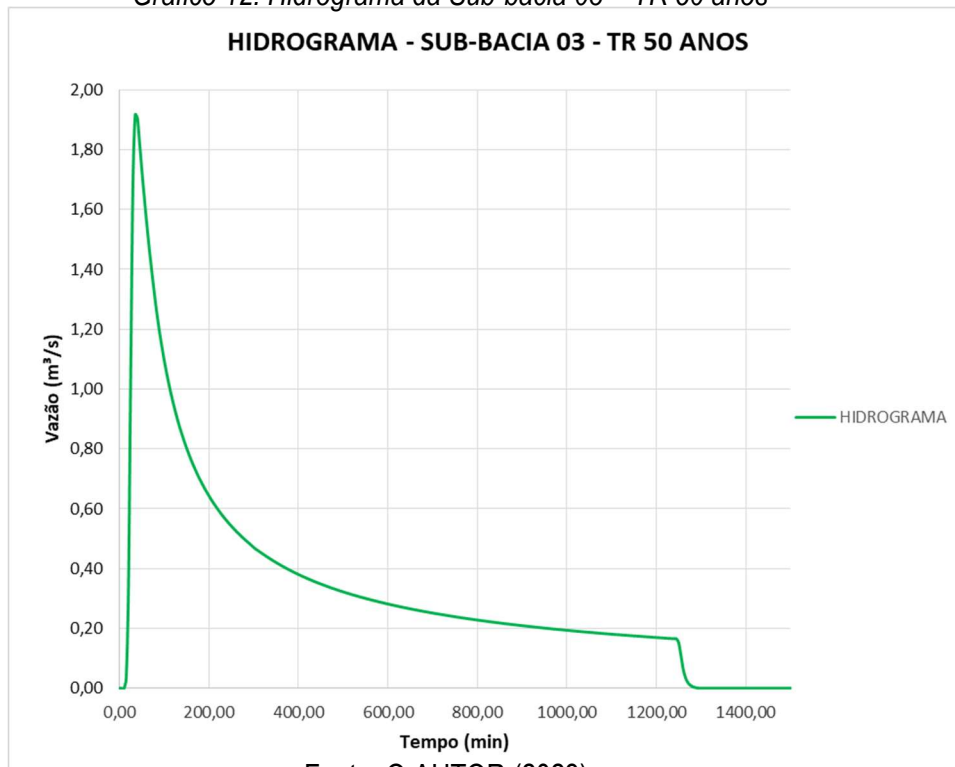
Gráfico 11: Hidrograma da Sub-bacia 03 – TR 25 anos



Fonte: O AUTOR (2023).

$Q(\text{máx}) = 1,40 \text{ m}^3/\text{s}$

Gráfico 12: Hidrograma da Sub-bacia 03 – TR 50 anos



Fonte: O AUTOR (2023).

$Q(\text{máx}) = 1,92 \text{ m}^3/\text{s}$

2.3.4 SUB-BACIA 04

Tabela 11: Cálculo do coeficiente CN

Condição	Área (km²)	Percent (%)	Coeficiente CN
Floresta	1,89	0,40	63
Campo	1,64	0,34	75
Plantações	0,89	0,19	74
Zona Industrial	0,00	0,00	88
Zona Residencial	0,34	0,07	85
Total	4,76		
CN (médio)			70,76260504
CN (adotado)			70

Fonte: O AUTOR (2023).

Tabela 12: Parâmetros Hidrológicos Definidos e Calculados

Parâmetros Hidrológicos da Sub-bacia	
Área (km²)	4,7600 km²
I (m/m)	0,0146 m/m
L talvegue (m)	4309,00 m
CN	70
C (runoff)	0,60
n (Manning)	0,0150
Tempo de Retorno	10 anos
S (mm)	108,8571 mm

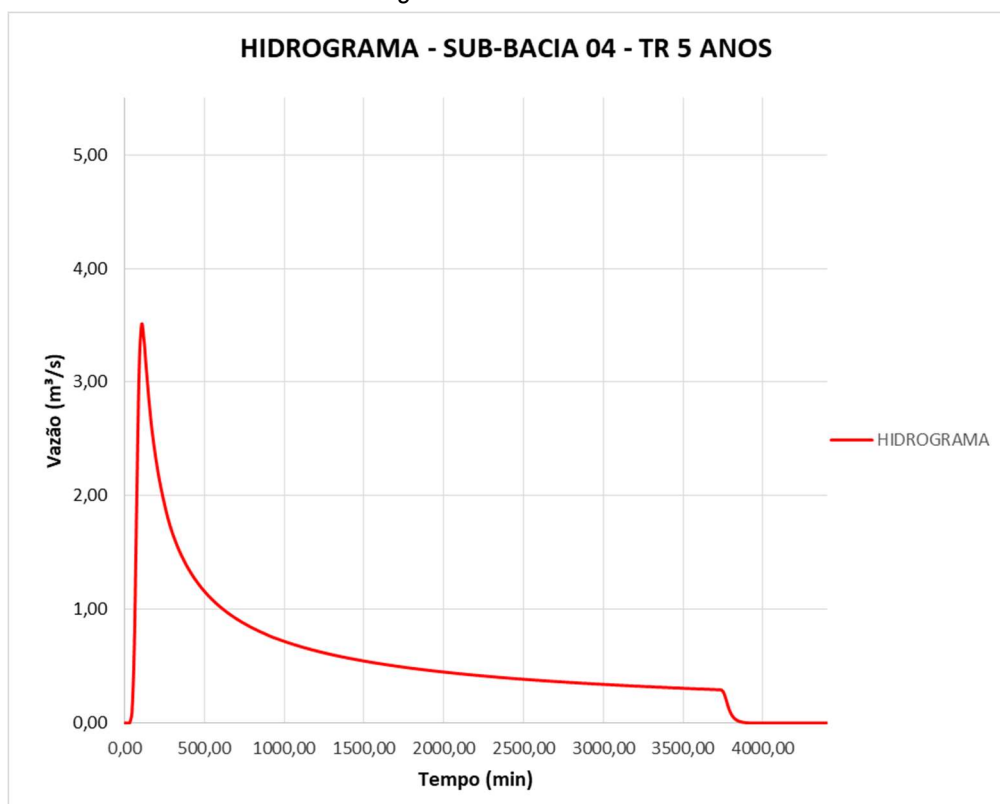
Fonte: O AUTOR (2023).

Tabela 13: Parâmetros Hidrograma Unitário Trinagular
Parâmetros Hidrograma Unitário Triangular

Tempo de Concentração - t_c	62,31 min 1,04 h
Duração da Chuva - t_d	1440,00 min 24,00 h
Δt (intervalo de tempo)	12,46 min 15,00 adot (min) 0,25 h
Número de Intervalos	96,00 intervalos 96,00 intervalos
Tempo de pico - t_p	0,62 h 37,39 min
Tempo de pico - t'_p	0,75 h 44,89 min
Tempo de recessão - t_r	1,25 h 74,96 min
Tempo de base - t_b	2,00 h 119,85 min
Descarga de Pico - q	13,25 m ³ /s.mm

Fonte: O AUTOR (2023).

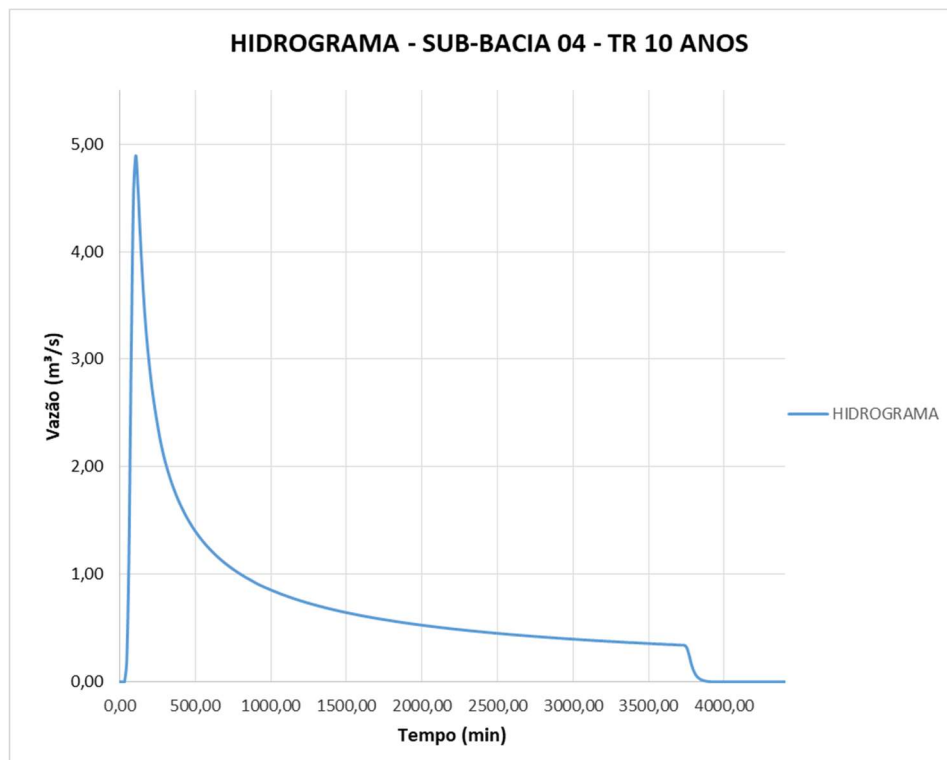
Gráfico 13: Hidrograma da Sub-bacia 04 – TR 5 anos



Fonte: O AUTOR (2023).

$Q(\text{máx}) = 3,50 \text{ m}^3/\text{s}$

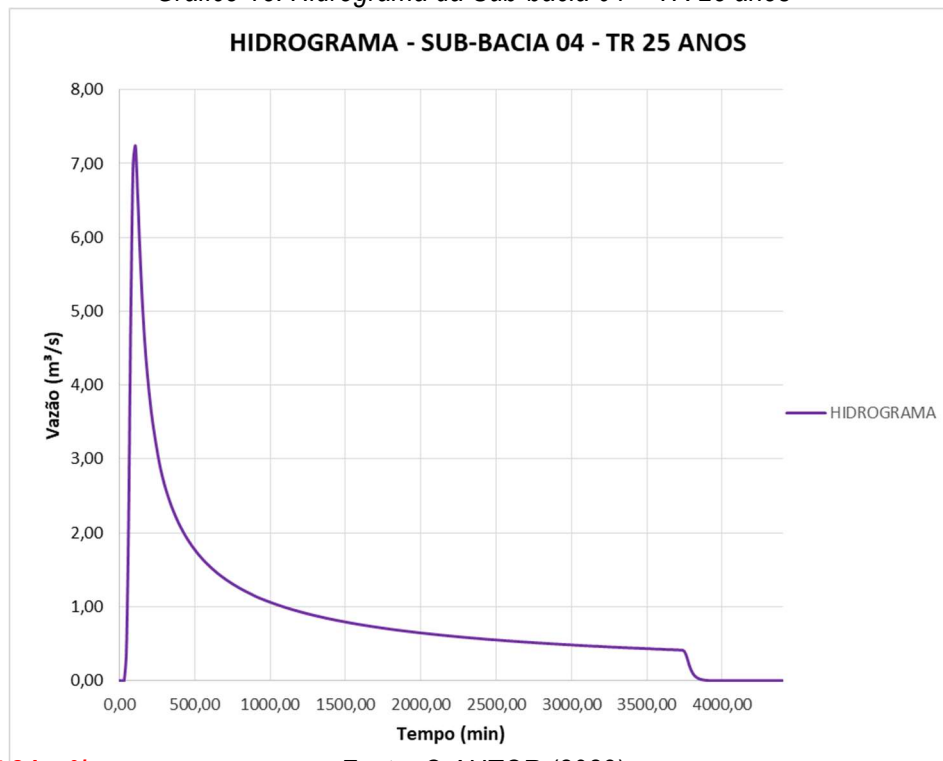
Gráfico 14: Hidrograma da Sub-bacia 04 – TR 10 anos



Fonte: O AUTOR (2023).

Q(máx) = 4,89 m³/s

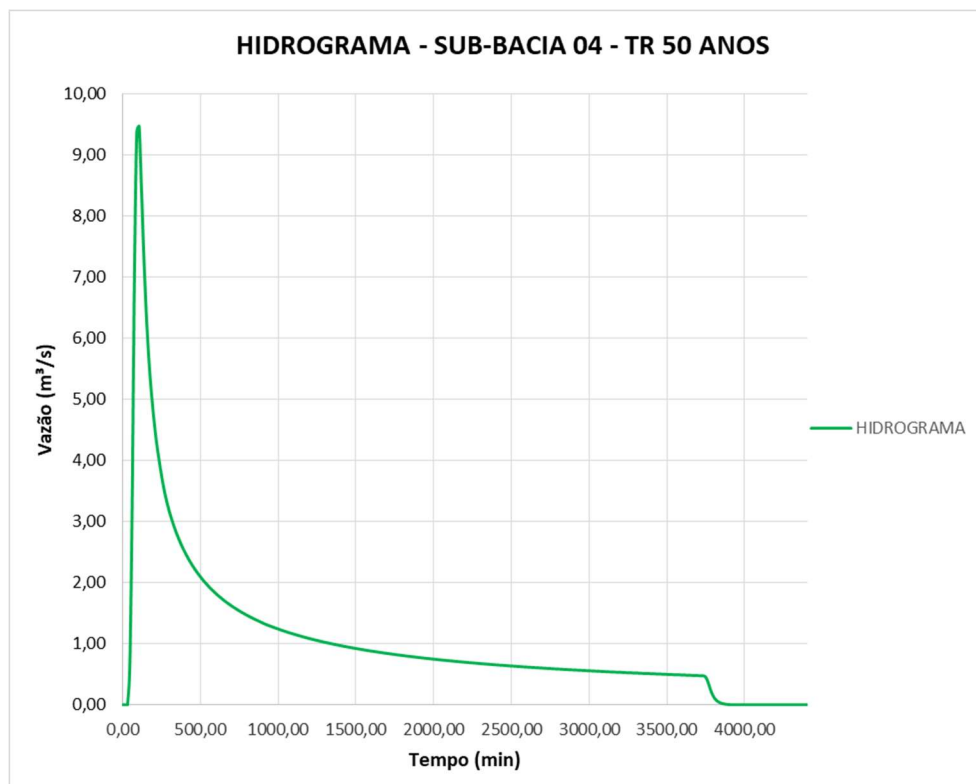
Gráfico 15: Hidrograma da Sub-bacia 04 – TR 25 anos



Q(máx) = 7,24 m³/s

Fonte: O AUTOR (2023).

Gráfico 16: Hidrograma da Sub-bacia 04 – TR 50 anos



Fonte: O AUTOR (2023).

Q(máx) = 9,47 m³/s

2.3.5 SUB-BACIA 05

Tabela 14: Cálculo do coeficiente CN

Condição	Área (km²)	Percent (%)	Coeficiente CN
Floresta	0,95	0,20	63
Campo	1,82	0,38	75
Plantações	0,46	0,10	74
Zona Industrial	0,19	0,04	88
Zona Residencial	1,31	0,28	85
Total	4,73		
			CN (médio) 75,6563951
			CN (adotado) 75

Fonte: O AUTOR (2023).

Tabela 15: Parâmetros Hidrológicos Definidos e Calculados

Parâmetros Hidrológicos da Sub-bacia	
Área (km²)	4,7380 km²
I (m/m)	0,0158 m/m
L talvegue (m)	3983,00 m
CN	75
C (runoff)	0,60
n (Manning)	0,0150
Tempo de Retorno	10 anos
S (mm)	84,6667 mm

Fonte: O AUTOR (2023).

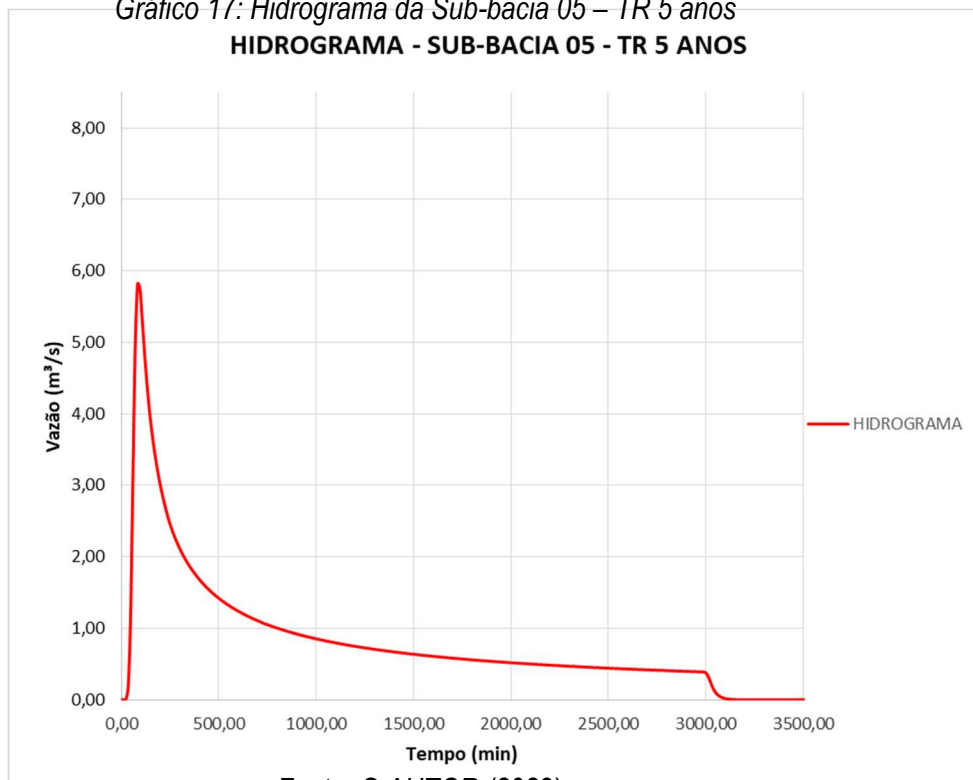
Tabela 16: Parâmetros Hidrograma Unitário Trinagular

Parâmetros Hidrograma Unitário Triangular	
Tempo de Concentração - <i>tc</i>	56,89 min 0,95 h
Duração da Chuva - <i>td</i>	1440,00 min 24,00 h
Δt (intervalo de tempo)	11,38 min 12,00 adot (min) 0,20 h
Número de Intervalos	120,00 intervalos 120,00 intervalos
Tempo de pico - <i>tp</i>	0,57 h 34,13 min
Tempo de pico - <i>t'p</i>	0,67 h 40,13 min
Tempo de recessão - <i>tr</i>	1,12 h 67,02 min
Tempo de base - <i>tb</i>	1,79 h 107,16 min
Descarga de Pico - <i>q</i>	14,75 m³/s.mm

Fonte: O AUTOR (2023).

Gráfico 17: Hidrograma da Sub-bacia 05 – TR 5 anos

HIDROGRAMA - SUB-BACIA 05 - TR 5 ANOS

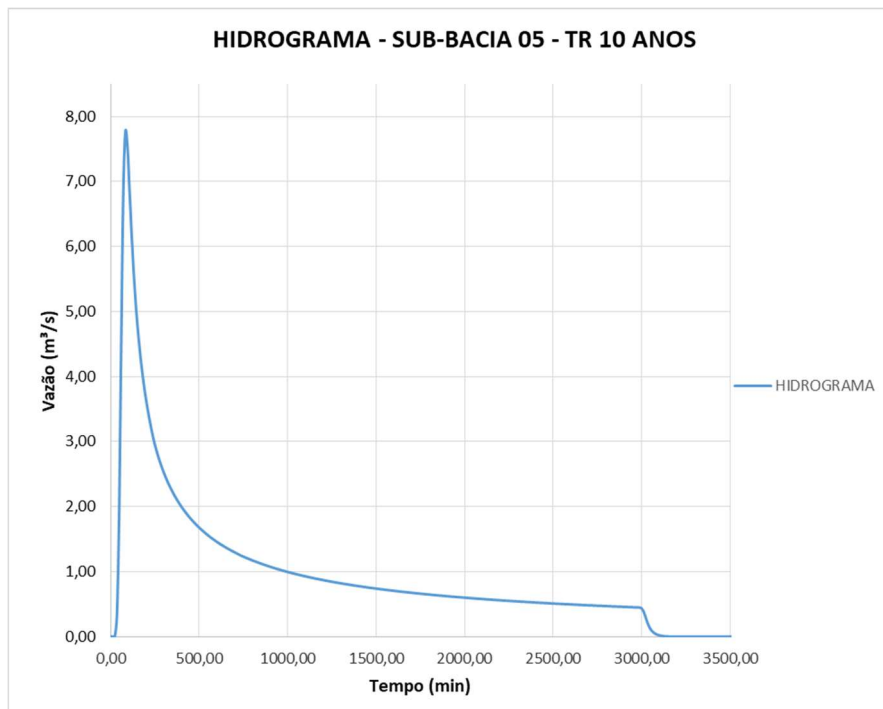


Fonte: O AUTOR (2023).

$$Q(\text{máx}) = 5,82 \text{ m}^3/\text{s}$$

Gráfico 18: Hidrograma da Sub-bacia 05 – TR 10 anos

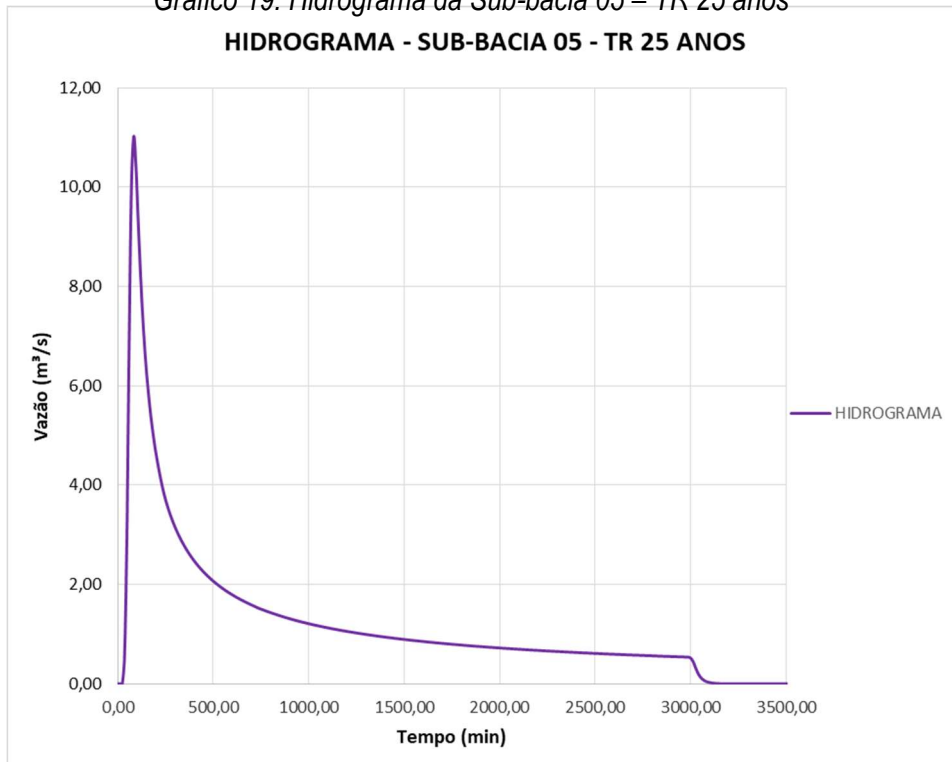
HIDROGRAMA - SUB-BACIA 05 - TR 10 ANOS



Fonte: O AUTOR (2023).

$$Q(\text{máx}) = 7,77 \text{ m}^3/\text{s}$$

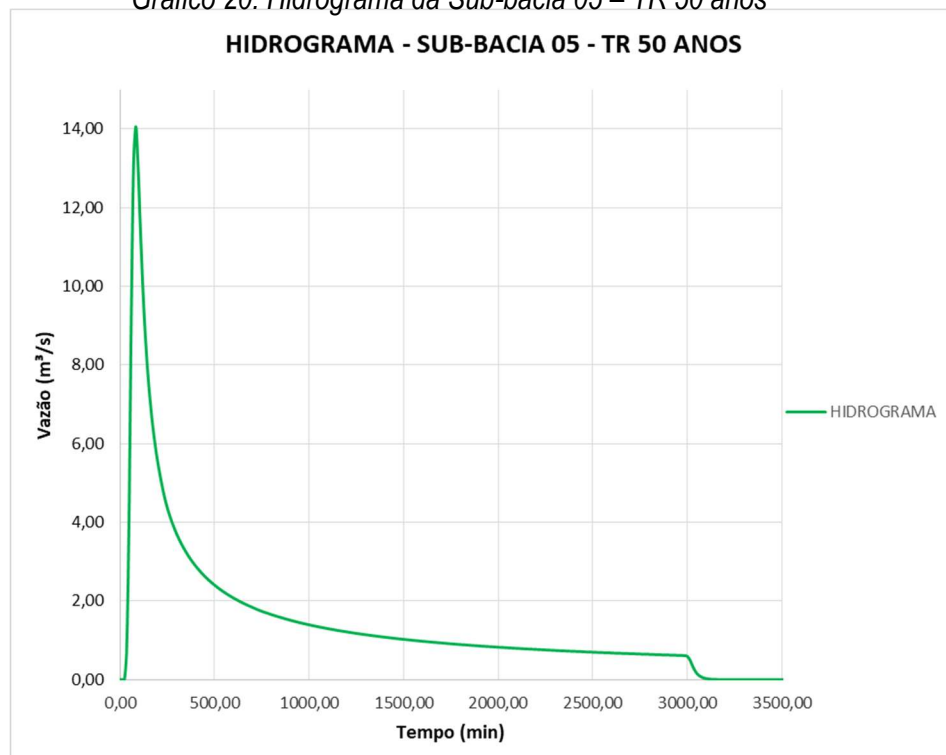
Gráfico 19: Hidrograma da Sub-bacia 05 – TR 25 anos



Fonte: O AUTOR (2023).

$$Q(\text{máx}) = 11,02 \text{ m}^3/\text{s}$$

Gráfico 20: Hidrograma da Sub-bacia 05 – TR 50 anos



Fonte: O AUTOR (2023).

$$Q(\text{máx}) = 14,06 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.3.6 QUADRO RESUMO

Abaixo segue quadro resumo dos resultados da simulação hidrológica para as 05 sub-bacias em TR 5, 10, 25 e 50 anos:

Tabela 17: Parâmetros e resultados do dimensionamento hidrológico das sub-bacias

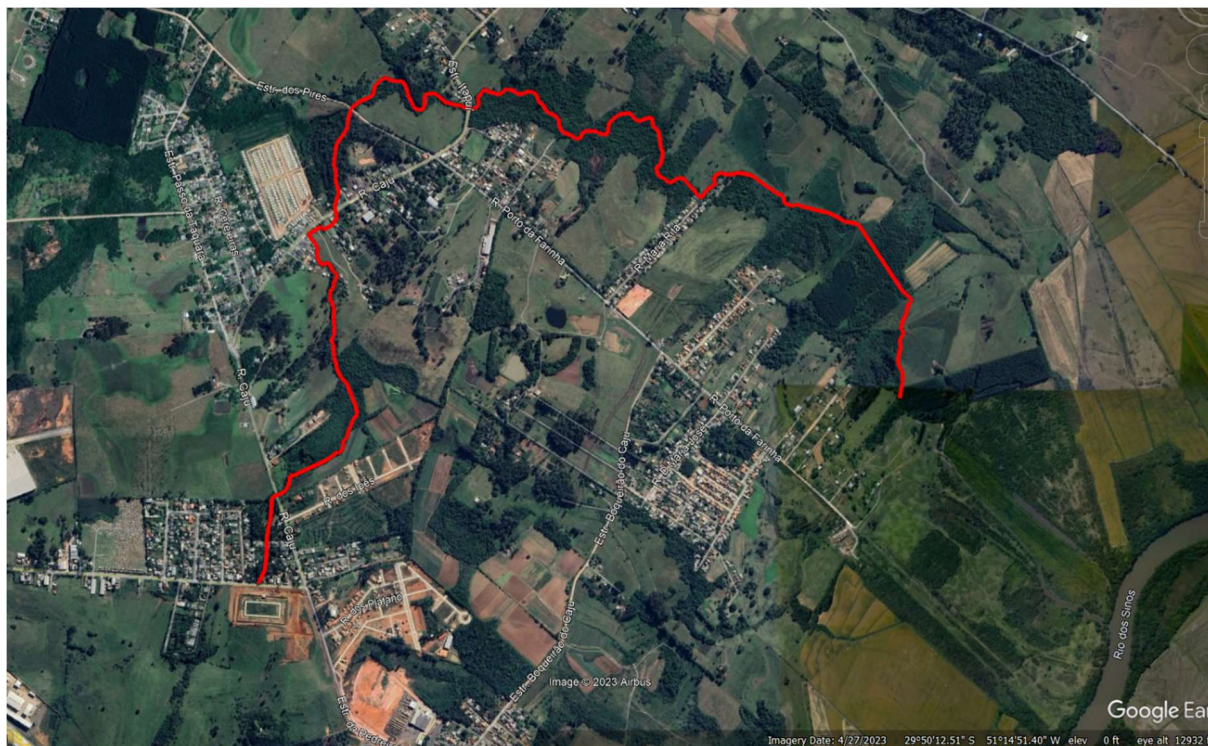
Sub-bacia	Área (km²)	L (talvegue) (m)	Inclinação (m/m)	CN	TR (anos)	Qmáx (m³/s)
01	7,30	3441,00	0,017	75	5	7,71
					10	9,04
					25	17,18
					50	22,19
02	6,51	3317,00	0,027	73	5	6,29
					10	8,69
					25	12,98
					50	17,05
03	0,73	1066,00	0,026	72	5	0,64
					10	0,90
					25	1,40
					50	1,92
04	4,76	4309,00	0,015	70	5	3,50
					10	4,89
					25	7,24
					50	9,47
05	4,74	3983,00	0,016	75	5	5,82
					10	7,77
					25	11,02
					50	14,06

Fonte: O AUTOR (2023).

3 ESTUDO HIDRÁULICO DO ARROIO CAJÚ

Como determinado no Termo de Referência, foi feito o dimensionamento hidráulico do Arroio Cajú a partir do projetado Condomínio Oliveira localizado na Rua Santa Rita ao Cajú até as proximidades do seu exutório junto ao Rio dos Sinos, conforme Figura 03 abaixo:

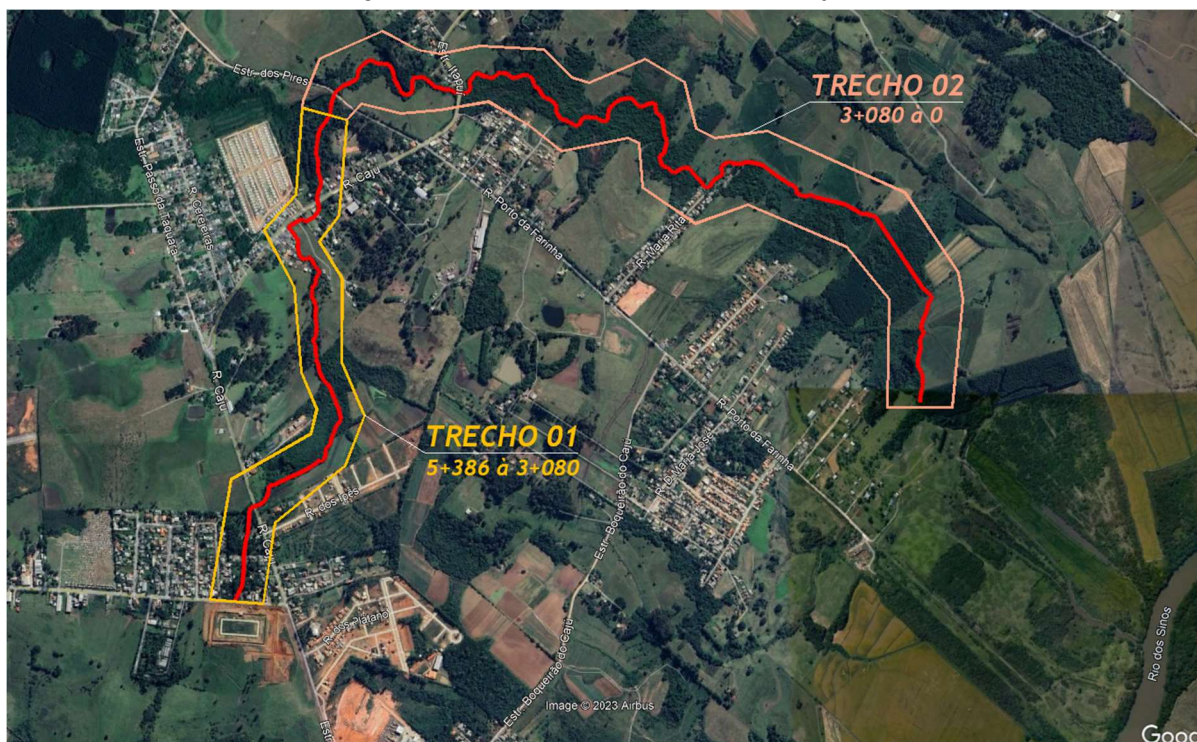
Figura 03: Trecho de estudo do Arroio Caju



Fonte: Google Earth (2020).

Nos primeiros 2306,00 metros o referido arroio opera em um dos seus afluentes principais que drena a sub-bacia 05 onde está inserido o Condomínio Oliveira (trecho entre a Rua Santa Rita ao Caju até a Estrada dos Pires). A partir daí, o arroio segue pelo seu leito principal até chegar ao Rio dos Sinos, conforme demonstrado na Figura 04 abaixo:

Figura 04: Trecho de estudo do Arroio Caju



Fonte: Google Earth (2020).

O modelo digital do terreno e a geometria do arroio foram feitas pelo software AutoCad Civil® na plataforma BIM tendo como base o cadastro topográfico realizado e anexado neste estudo. A simulação hidrodinâmica foi realizada pelo software HEC-RAS (River Analysis System) para determinação das vazões e lâminas d'água máximas resultantes em escoamento com regime não permanente para um tempo de recorrência (TR) de 25 anos.

3.1 Regime de Escoamento e Formulação Matemática

Neste item serão abordados o regime de escoamento utilizado na simulação, bem como a formulação matemática e condições de controle consideradas para determinação dos níveis d'água máximos para as seções críticas determinadas no projeto.

3.1.1 Regime de Escoamento

Foi considerado o regime de escoamento não-permanente, subcrítico incompressível e homogêneo, com armazenamento e descarga por gravidade

3.1.2 Simulação Hidrodinâmica e Formulação Matemática

A simulação hidrodinâmica em regime não permanente, realizada através do software HEC-RAS para determinação do perfil da linha d'água máxima para TR 25 anos, foi resolvida pelas variações da Equação de *Saint-Venant (1871)* baseada no princípio da conservação da quantidade de movimento aplicado ao elemento de controle considerado. A variação de movimento por unidade de tempo deste elemento é igual ao somatório de todas as forças que atuam sobre ele (força de inércia, força de gravidade, força de pressão e força de atrito), expressadas na sua forma diferencial pela Equação 11 abaixo:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\frac{Q^2}{S})}{\partial x} + g \cdot S \cdot \frac{\partial y}{\partial x} = g \cdot S \cdot (S_o - S_f) \quad \text{Equação 11}$$

Sendo:

g = Aceleração da gravidade;

y = profundidade do escoamento na seção transversal;

t = Variável independente associada ao tempo;

x = Variável independente associada à direção do escoamento;

S_o = Declividade da calha pluvial;

S_f = Declividade da linha energética do escoamento;

Q = Vazão em trânsito pela seção transversal;

S = Área molhada da seção do escoamento.

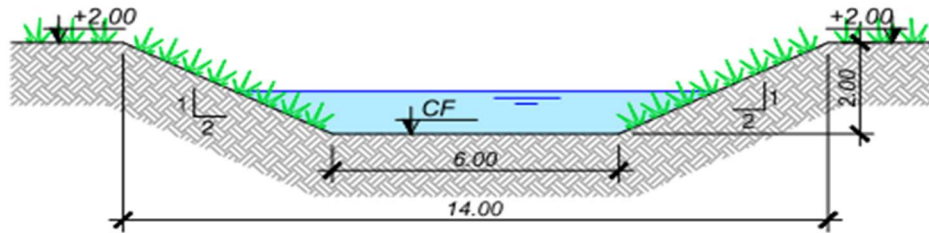
3.2 Seções de Escoamento Projetadas

Após processar a simulação hidrodinâmica, definiu-se as seções de escoamento do Arroio Caju no trecho de estudo para atender as vazões máximas de suas sub-bacias para um tempo de recorrência (TR) de 25 anos. Foram dimensionadas 03 seções de escoamento do tipo trapezoidal com inclinação dos taludes das margens em 2H:1V e profundidade média na ordem de 2,00 metros, detalhadas abaixo:



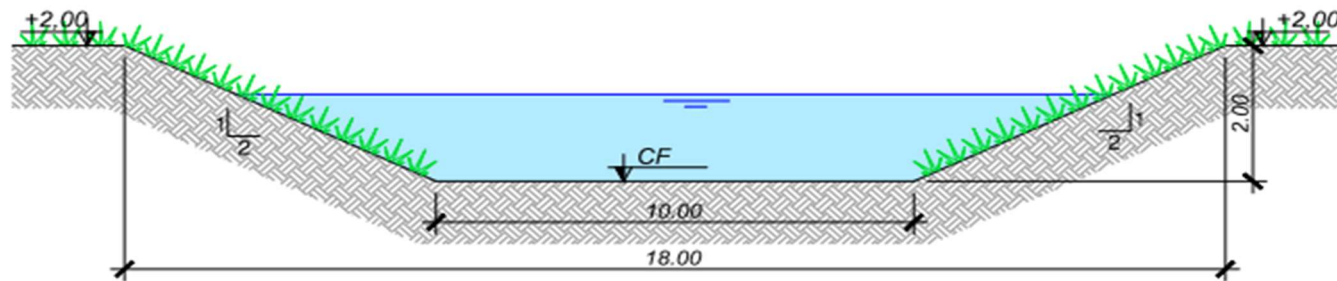
Seção Tipo 01 - Estaca 5+386 à 3+500

ESCALA HORIZONTAL : 1:100
ESCALA VERTICAL : 1:50



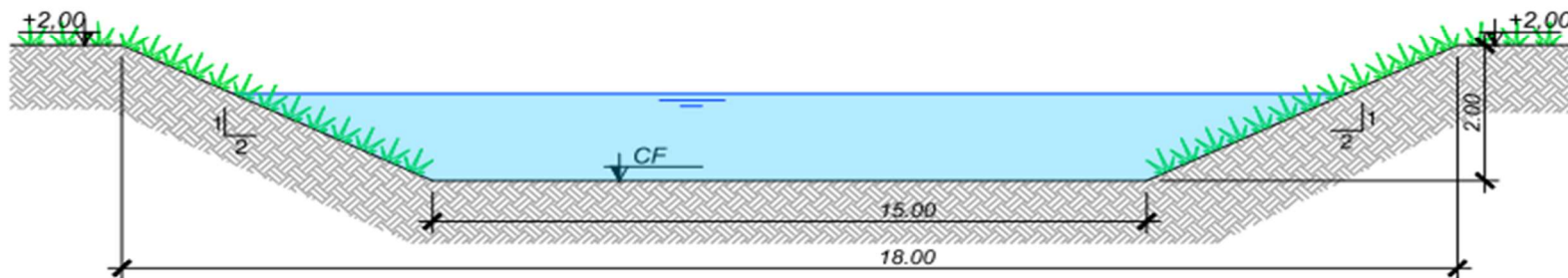
Seção Tipo 02 - Estaca 3+500 à 3+080

ESCALA HORIZONTAL : 1:100
ESCALA VERTICAL : 1:50



Seção Tipo 03 - Estaca 3+080 à 0+000

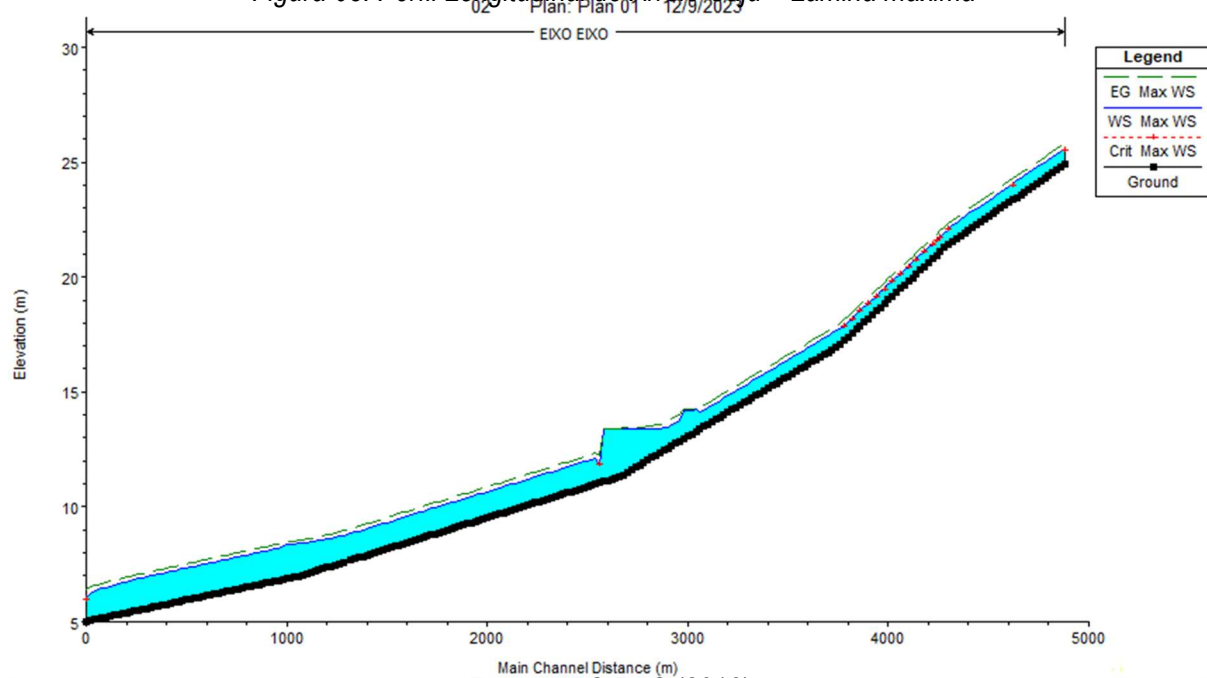
ESCALA HORIZONTAL : 1:100
ESCALA VERTICAL : 1:50



3.3 Lâmina Máxima d'água Atingida pelo Arroio – TR 25 Años

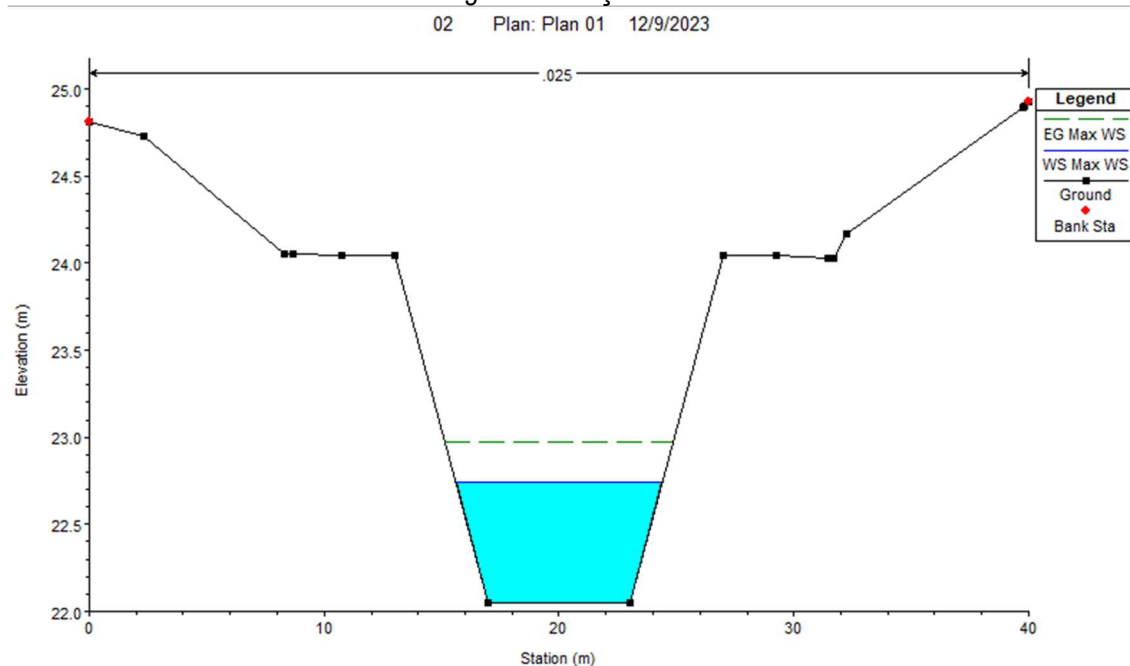
Os gráficos e tabelas abaixo apresentam o perfil da linha d'água para as seções dos arroio dimensionadas com base nos parâmetros hidrológicos, condições de contorno e os parâmetros hidráulicos e geométricos da simulação via HEC-RAS:

Figura 05: Perfil Longitudinal do Arroio Caju – Lâmina máxima



Fonte: HEC-RAS (2016).

Figura 06: Seção 4420



Fonte: HEC-RAS (2016).

Tabela 18: Parâmetros e resultados hidráulicos da simulação na seção 4420

River:
EIXO
Profile:
Max WS

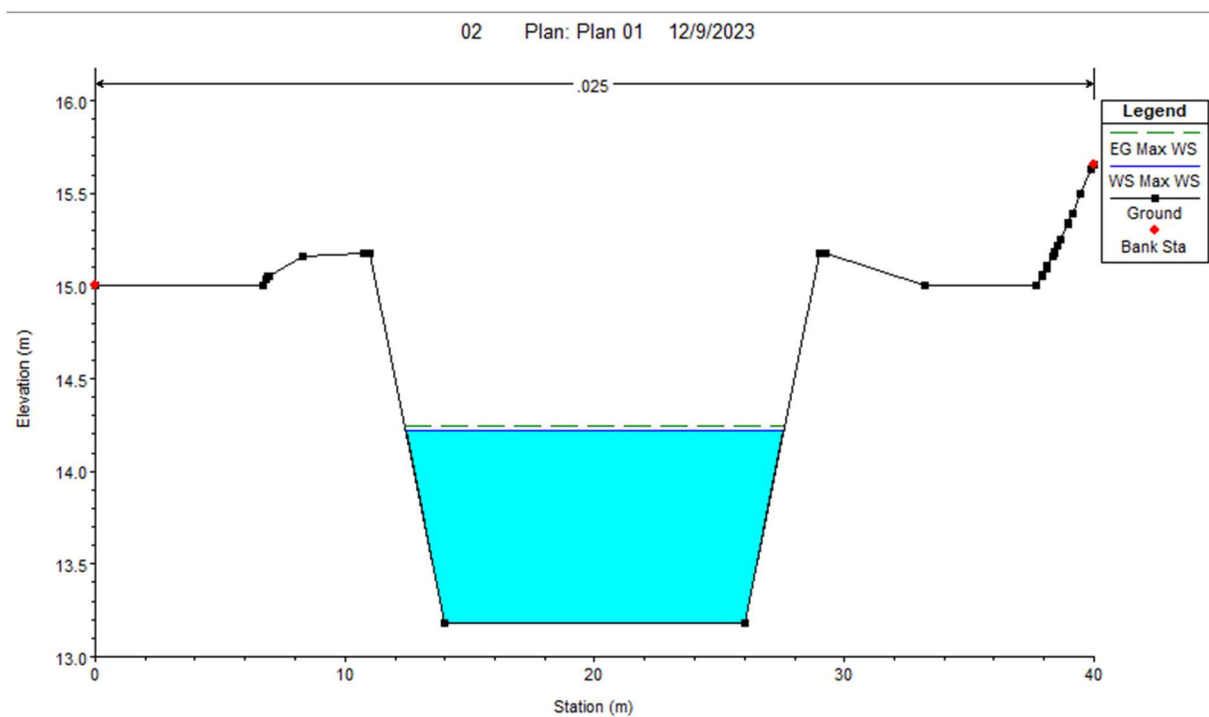
Reach:
EIXO
RS:
4420
Plan:
Plan 01

Plan: Plan 01
EIXO
EIXO
RS: 4420
Profile: Max WS

E.G. Elev (m)	22.97	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.23	Wt. n-Val.		0.025	
W.S. Elev (m)	22.74	Reach Len. (m)	20.00	20.00	20.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		5.15	
E.G. Slope (m/m)	0.006035	Area (m2)		5.15	
Q Total (m3/s)	10.93	Flow (m3/s)		10.93	
Top Width (m)	8.78	Top Width (m)		8.78	
Vel Total (m/s)	2.12	Avg. Vel. (m/s)		2.12	
Max Chl Dpth (m)	0.70	Hydr. Depth (m)		0.59	
Conv. Total (m3/s)	140.6	Conv. (m3/s)		140.6	
Length Wtd. (m)	20.00	Wetted Per. (m)		9.11	
Min Ch El (m)	22.05	Shear (N/m2)		33.42	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		70.95	
Frctn Loss (m)	0.12	Cum Volume (1000 m3)		73.41	
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)		71.58	

Fonte: HEC-RAS (2016).

Figura 07: Seção 3640



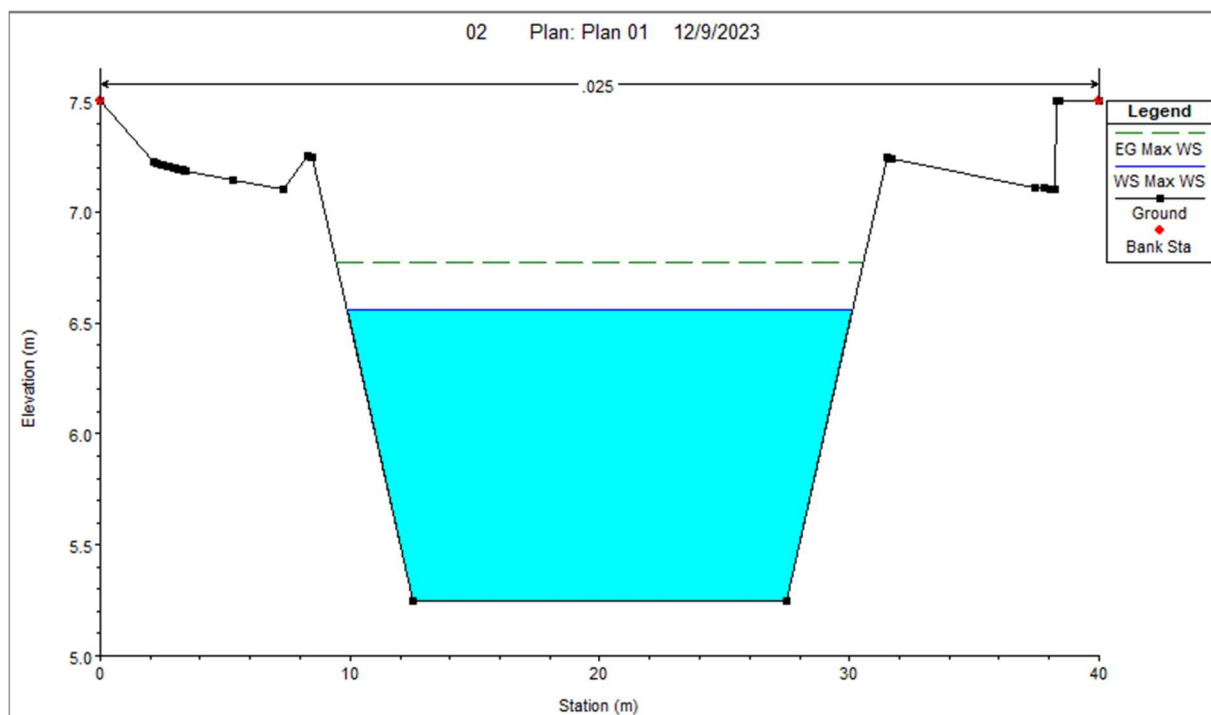
Fonte: HEC-RAS (2016).

Tabela 19: Parâmetros e resultados hidráulicos da simulação na seção 3340

River:	EIXO	Profile:	Max WS		
Reach	EIXO	RS:	3340	↓	↑
		Plan:	Plan 01		
Plan: Plan 01 EIXO EIXO RS: 3340 Profile: Max WS					
E.G. Elev (m)	15.68	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.21	Wt. n-Val.		0.025	
W.S. Elev (m)	15.47	Reach Len. (m)	20.00	20.00	20.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		5.35	
E.G. Slope (m/m)	0.005280	Area (m2)		5.35	
Q Total (m3/s)	10.83	Flow (m3/s)		10.83	
Top Width (m)	8.88	Top Width (m)		8.88	
Vel Total (m/s)	2.02	Avg. Vel. (m/s)		2.02	
Max Chl Dpth (m)	0.72	Hydr. Depth (m)		0.60	
Conv. Total (m3/s)	149.1	Conv. (m3/s)		149.1	
Length Wtd. (m)	20.00	Wetted Per. (m)		9.22	
Min Ch El (m)	14.75	Shear (N/m2)		30.07	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		60.83	
Frctn Loss (m)	0.11	Cum Volume (1000 m3)		68.02	
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)		62.17	

Fonte: HEC-RAS (2016).

Figura 08: Seção 120



Fonte: HEC-RAS (2016).

Tabela 19: Parâmetros e resultados hidráulicos da simulação na seção 120

River:	EIXO	Profile:	Max WS	
Reach:	EIXO	RS:	120	Plan: Plan 01
Plan: Plan 01 EIXO EIXO RS: 120 Profile: Max WS				
E.G. Elev (m)	6.72	Element	Left OB	Channel
Vel Head (m)	0.22	Wt. n-Val.		0.025
W.S. Elev (m)	6.50	Reach Len. (m)	20.00	20.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		22.47
E.G. Slope (m/m)	0.002423	Area (m2)		22.47
Q Total (m3/s)	47.07	Flow (m3/s)		47.07
Top Width (m)	19.83	Top Width (m)		19.83
Vel Total (m/s)	2.09	Avg. Vel. (m/s)		2.09
Max Chl Dpth (m)	1.29	Hydr. Depth (m)		1.13
Conv. Total (m3/s)	956.2	Conv. (m3/s)		956.2
Length Wtd. (m)	20.00	Wetted Per. (m)		20.48
Min Ch El (m)	5.21	Shear (N/m2)		26.07
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		54.62
Frctn Loss (m)	0.05	Cum Volume (1000 m3)		2.12
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)		1.98

Fonte: HEC-RAS (2016).

Tabela 20: Parâmetros e resultados hidráulicos de todas as estacas

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
EIXO	4900	Max WS	11.02	24.9	25.58	25.84	0.006862	2.25	4.9	8.38	0.94
EIXO	4880	Max WS	11.01	24.78	25.48	25.71	0.005946	2.12	5.2	8.81	0.88
EIXO	4860	Max WS	11	24.66	25.36	25.59	0.006	2.12	5.18	8.8	0.88
EIXO	4840	Max WS	10.99	24.54	25.24	25.47	0.006008	2.12	5.18	8.8	0.88
EIXO	4820	Max WS	10.98	24.42	25.12	25.35	0.006017	2.12	5.17	8.8	0.88
EIXO	4800	Max WS	10.97	24.3	25	25.23	0.005979	2.12	5.18	8.8	0.88
EIXO	4780	Max WS	10.97	24.18	24.88	25.11	0.00596	2.12	5.18	8.8	0.88
EIXO	4760	Max WS	10.97	24.07	24.76	24.99	0.006115	2.14	5.14	8.78	0.89
EIXO	4740	Max WS	10.97	23.95	24.64	24.87	0.006046	2.13	5.16	8.79	0.89
EIXO	4720	Max WS	10.97	23.83	24.53	24.76	0.005997	2.12	5.17	8.8	0.88
EIXO	4700	Max WS	10.96	23.71	24.41	24.64	0.00602	2.12	5.16	8.79	0.88
EIXO	4680	Max WS	10.96	23.59	24.29	24.52	0.005898	2.11	5.2	8.81	0.88
EIXO	4660	Max WS	10.95	23.47	24.22	24.41	0.004736	1.96	5.6	8.99	0.79
EIXO	4640	Max WS	10.95	23.37	24.03	24.29	0.007355	2.27	4.82	8.63	0.97
EIXO	4620	Max WS	10.95	23.23	23.93	24.16	0.006049	2.13	5.15	8.79	0.89
EIXO	4600	Max WS	10.95	23.12	23.81	24.04	0.006104	2.13	5.13	8.78	0.89
EIXO	4580	Max WS	10.94	23	23.7	23.92	0.005891	2.11	5.19	8.81	0.88
EIXO	4560	Max WS	10.94	22.88	23.56	23.8	0.006521	2.18	5.02	8.73	0.92
EIXO	4540	Max WS	10.94	22.75	23.46	23.68	0.005598	2.07	5.29	8.86	0.86
EIXO	4520	Max WS	10.94	22.64	23.34	23.57	0.006011	2.12	5.16	8.79	0.88
EIXO	4500	Max WS	10.93	22.52	23.22	23.45	0.006034	2.12	5.15	8.79	0.89
EIXO	4480	Max WS	10.93	22.4	23.1	23.33	0.00601	2.12	5.15	8.79	0.88
EIXO	4460	Max WS	10.93	22.28	22.98	23.21	0.005937	2.11	5.18	8.8	0.88
EIXO	4440	Max WS	10.93	22.17	22.86	23.09	0.005991	2.12	5.16	8.79	0.88
EIXO	4420	Max WS	10.93	22.05	22.74	22.97	0.006035	2.12	5.15	8.78	0.89
EIXO	4400	Max WS	10.92	21.93	22.62	22.85	0.006052	2.12	5.14	8.78	0.89
EIXO	4380	Max WS	10.92	21.81	22.51	22.73	0.005939	2.11	5.17	8.8	0.88
EIXO	4360	Max WS	10.92	21.69	22.37	22.61	0.006608	2.19	4.99	8.71	0.92
EIXO	4340	Max WS	10.88	21.56	22.28	22.49	0.005252	2.02	5.38	8.91	0.83
EIXO	4320	Max WS	10.91	21.43	22.05	22.35	0.009264	2.45	4.45	8.46	1.08
EIXO	4300	Max WS	10.81	21.27	21.94	22.18	0.006831	2.21	4.9	8.67	0.94
EIXO	4280	Max WS	10.88	21.11	21.72	22.03	0.009264	2.45	4.44	8.46	1.08
EIXO	4260	Max WS	10.86	20.95	21.61	21.86	0.006926	2.22	4.89	8.67	0.94
EIXO	4240	Max WS	10.9	20.78	21.4	21.71	0.00916	2.44	4.46	8.47	1.07
EIXO	4220	Max WS	10.73	20.62	21.29	21.54	0.006804	2.2	4.88	8.66	0.94
EIXO	4200	Max WS	10.89	20.46	21.08	21.38	0.009192	2.44	4.45	8.46	1.08
EIXO	4180	Max WS	10.83	20.3	20.98	21.22	0.006578	2.18	4.97	8.7	0.92
EIXO	4160	Max WS	10.77	20.14	20.75	21.05	0.009339	2.45	4.4	8.44	1.08
EIXO	4140	Max WS	10.83	19.98	20.67	20.9	0.006155	2.13	5.08	8.76	0.89
EIXO	4120	Max WS	10.87	19.82	20.42	20.74	0.010039	2.52	4.32	8.4	1.12
EIXO	4100	Max WS	10.87	19.66	20.34	20.58	0.006246	2.14	5.07	8.75	0.9
EIXO	4080	Max WS	10.88	19.49	20.09	20.42	0.010051	2.52	4.32	8.4	1.12
EIXO	4060	Max WS	10.87	19.33	20.01	20.25	0.006496	2.17	5	8.72	0.92
EIXO	4040	Max WS	10.87	19.17	19.78	20.09	0.009641	2.48	4.38	8.43	1.1
EIXO	4020	Max WS	10.87	19.01	19.69	19.93	0.006559	2.18	4.99	8.71	0.92
EIXO	4000	Max WS	10.87	18.85	19.45	19.77	0.009727	2.49	4.36	8.42	1.1
EIXO	3980	Max WS	10.85	18.69	19.37	19.61	0.006212	2.14	5.07	8.75	0.9
EIXO	3960	Max WS	10.86	18.53	19.12	19.45	0.010092	2.52	4.31	8.39	1.12
EIXO	3940	Max WS	10.87	18.36	19.05	19.29	0.006219	2.14	5.08	8.75	0.9
EIXO	3920	Max WS	10.87	18.2	18.8	19.13	0.010316	2.54	4.28	8.38	1.13
EIXO	3900	Max WS	10.85	18.04	18.73	18.96	0.006047	2.12	5.12	8.77	0.89
EIXO	3880	Max WS	10.86	17.88	18.48	18.8	0.010174	2.53	4.3	8.39	1.13
EIXO	3860	Max WS	10.87	17.72	18.4	18.64	0.006361	2.16	5.04	8.73	0.91
EIXO	3840	Max WS	10.87	17.56	18.16	18.48	0.009776	2.49	4.36	8.42	1.11
EIXO	3820	Max WS	10.86	17.4	18.07	18.32	0.006665	2.19	4.96	8.7	0.93
EIXO	3800	Max WS	10.86	17.23	17.84	18.15	0.009653	2.48	4.38	8.43	1.1

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
EIXO	3780	Max WS	10.86	17.07	17.74	17.99	0.006833	2.21	4.91	8.68	0.94
EIXO	3760	Max WS	10.86	16.94	17.66	17.87	0.005297	2.03	5.36	8.88	0.83
EIXO	3740	Max WS	10.86	16.84	17.56	17.77	0.005257	2.02	5.37	8.89	0.83
EIXO	3720	Max WS	10.86	16.73	17.45	17.66	0.005288	2.03	5.36	8.88	0.83
EIXO	3700	Max WS	10.85	16.63	17.35	17.56	0.005287	2.03	5.36	8.88	0.83
EIXO	3680	Max WS	10.85	16.52	17.25	17.45	0.005234	2.02	5.38	8.88	0.83
EIXO	3660	Max WS	10.85	16.42	17.14	17.35	0.005246	2.02	5.37	8.89	0.83
EIXO	3640	Max WS	10.85	16.32	17.03	17.24	0.005325	2.03	5.35	8.89	0.84
EIXO	3620	Max WS	10.85	16.21	16.93	17.14	0.00541	2.04	5.32	8.86	0.84
EIXO	3600	Max WS	10.84	16.1	16.83	17.03	0.005157	2.01	5.4	8.91	0.82
EIXO	3580	Max WS	10.84	16	16.71	16.93	0.005528	2.06	5.28	8.84	0.85
EIXO	3560	Max WS	10.84	15.89	16.62	16.82	0.004987	1.99	5.46	8.92	0.81
EIXO	3540	Max WS	10.84	15.79	16.51	16.72	0.005222	2.02	5.38	8.89	0.83
EIXO	3520	Max WS	10.84	15.69	16.4	16.62	0.005387	2.04	5.32	8.86	0.84
EIXO	3500	Max WS	10.84	15.58	16.3	16.51	0.005184	2.01	5.39	8.87	0.83
EIXO	3480	Max WS	10.84	15.48	16.2	16.41	0.005234	2.02	5.37	8.89	0.83
EIXO	3460	Max WS	10.84	15.37	16.09	16.3	0.005287	2.02	5.35	8.88	0.83
EIXO	3440	Max WS	10.84	15.27	15.99	16.2	0.005231	2.02	5.37	8.89	0.83
EIXO	3420	Max WS	10.83	15.17	15.88	16.09	0.005306	2.03	5.35	8.87	0.83
EIXO	3400	Max WS	10.83	15.06	15.76	15.98	0.005677	2.07	5.22	8.82	0.86
EIXO	3380	Max WS	10.83	14.96	15.69	15.88	0.004826	1.94	5.59	9.27	0.8
EIXO	3360	Max WS	10.83	14.85	15.57	15.78	0.005241	2.02	5.37	8.88	0.83
EIXO	3340	Max WS	10.83	14.75	15.47	15.68	0.00528	2.02	5.35	8.88	0.83
EIXO	3320	Max WS	10.83	14.64	15.36	15.57	0.00524	2.02	5.37	8.88	0.83
EIXO	3300	Max WS	10.83	14.54	15.26	15.47	0.005285	2.02	5.35	8.88	0.83
EIXO	3280	Max WS	10.83	14.43	15.15	15.36	0.005229	2.02	5.37	8.89	0.83
EIXO	3260	Max WS	10.82	14.33	15.05	15.26	0.005264	2.02	5.36	8.88	0.83
EIXO	3240	Max WS	10.82	14.22	14.94	15.15	0.005241	2.02	5.36	8.88	0.83
EIXO	3220	Max WS	10.82	14.12	14.84	15.05	0.005272	2.02	5.35	8.88	0.83
EIXO	3200	Max WS	10.82	14.02	14.73	14.94	0.005287	2.02	5.35	8.88	0.83
EIXO	3180	Max WS	10.82	13.91	14.63	14.84	0.005262	2.02	5.36	8.88	0.83
EIXO	3160	Max WS	10.82	13.81	14.53	14.73	0.00523	2.01	5.38	8.94	0.83
EIXO	3140	Max WS	10.82	13.7	14.42	14.63	0.005229	2.02	5.37	8.88	0.83
EIXO	3120	Max WS	10.82	13.6	14.32	14.52	0.00529	2.02	5.35	8.88	0.83
EIXO	3100	Max WS	10.42	13.49	14.22	14.41	0.004755	1.93	5.4	8.9	0.79
EIXO	3080	Max WS	10.06	13.39	14.16	14.31	0.003565	1.73	5.82	9.09	0.69
EIXO	3060	Max WS	10.19	13.28	14.22	14.26	0.000533	0.81	12.61	14.82	0.28
EIXO	3040	Max WS	10.19	13.18	14.22	14.25	0.000376	0.72	14.13	15.12	0.24
EIXO	3020	Max WS	10.18	13.07	14.22	14.24	0.000273	0.65	15.7	15.43	0.21
EIXO	3000	Max WS	10.18	12.97	14.22	14.23	0.000203	0.59	17.3	15.74	0.18
EIXO	2980	Max WS	27.76	12.87	13.73	14.03	0.005193	2.41	11.54	14.6	0.86
EIXO	2960	Max WS	27.76	12.76	13.64	13.93	0.004982	2.37	11.69	14.63	0.85
EIXO	2940	Max WS	27.76	12.66	13.57	13.83	0.00429	2.26	12.28	14.75	0.79
EIXO	2920	Max WS	26.84	12.55	13.44	13.72	0.004705	2.34	11.46	13.78	0.82
EIXO	2900	Max WS	26.84	12.45	13.44	13.64	0.003098	2.01	13.35	14.97	0.68
EIXO	2880	Max WS	26.84	12.34	13.42	13.59	0.002332	1.83	14.66	15.23	0.6
EIXO	2860	Max WS	26.84	12.24	13.41	13.55	0.001761	1.67	16.08	15.51	0.52
EIXO	2840	Max WS	26.83	12.14	13.4	13.52	0.001314	1.5	17.88	16.3	0.46
EIXO	2820	Max WS	26.83	12.03	13.4	13.5	0.001031	1.4	19.21	16.1	0.41
EIXO	2800	Max WS	26.93	11.92	13.39	13.48	0.000811	1.29	20.86	16.41	0.37
EIXO	2780	Max WS	26.92	11.82	13.39	13.46	0.000643	1.19	22.55	16.71	0.33
EIXO	2760	Max WS	26.91	11.71	13.4	13.45	0.000542	1.05	25.68	20.66	0.3
EIXO	2740	Max WS	26.89	11.61	13.39	13.44	0.000419	1.03	26.06	17.33	0.27
EIXO	2720	Max WS	26.88	11.51	13.39	13.44	0.000343	0.96	27.89	17.65	0.24
EIXO	2700	Max WS	26.87	11.4	13.39	13.43	0.000284	0.9	29.73	17.96	0.22
EIXO	2680	Max WS	26.86	11.32	13.39	13.42	0.000328	0.85	31.55	23.47	0.23

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch EI (m)	W.S. Elev (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
EIXO	2660	Max WS	26.85	11.26	13.38	13.42	0.00029	0.82	32.79	23.49	0.22
EIXO	2640	Max WS	26.84	11.21	13.39	13.41	0.000144	0.63	42.6	27.37	0.16
EIXO	2620	Max WS	26.83	11.15	13.39	13.41	0.000112	0.62	43.55	23.52	0.14
EIXO	2600	Max WS	26.82	11.1	13.39	13.41	0.000122	0.59	45.49	28.52	0.15
EIXO	2580	Max WS	29.09	11.05	11.78	12.25	0.010151	3.04	9.58	14.19	1.18
EIXO	2560	Max WS	39.83	10.99	12.12	12.33	0.002719	2.05	19.47	19.51	0.65
EIXO	2540	Max WS	39.83	10.94	12.06	12.28	0.002767	2.06	19.3	19.3	0.66
EIXO	2520	Max WS	39.83	10.88	12.01	12.22	0.002719	2.05	19.47	19.51	0.65
EIXO	2500	Max WS	39.83	10.83	11.96	12.17	0.002721	2.05	19.47	19.51	0.65
EIXO	2480	Max WS	39.83	10.77	11.9	12.12	0.00272	2.05	19.47	19.51	0.65
EIXO	2460	Max WS	39.81	10.72	11.85	12.06	0.002723	2.05	19.45	19.51	0.65
EIXO	2440	Max WS	39.81	10.66	11.79	12.01	0.002711	2.04	19.48	19.52	0.65
EIXO	2420	Max WS	39.81	10.61	11.74	11.95	0.002713	2.04	19.48	19.51	0.65
EIXO	2400	Max WS	39.81	10.56	11.69	11.9	0.002718	2.05	19.47	19.51	0.65
EIXO	2380	Max WS	39.81	10.5	11.63	11.84	0.00272	2.05	19.46	19.51	0.65
EIXO	2360	Max WS	39.81	10.45	11.58	11.79	0.002723	2.05	19.45	19.51	0.65
EIXO	2340	Max WS	39.8	10.39	11.52	11.74	0.002728	2.05	19.44	19.51	0.65
EIXO	2320	Max WS	39.8	10.34	11.47	11.68	0.002717	2.04	19.47	19.51	0.65
EIXO	2300	Max WS	39.8	10.29	11.41	11.63	0.002717	2.04	19.47	19.51	0.65
EIXO	2280	Max WS	39.8	10.23	11.36	11.57	0.002719	2.05	19.46	19.51	0.65
EIXO	2260	Max WS	39.78	10.18	11.31	11.52	0.002717	2.04	19.46	19.51	0.65
EIXO	2240	Max WS	39.78	10.12	11.25	11.46	0.002717	2.04	19.46	19.51	0.65
EIXO	2220	Max WS	39.78	10.07	11.2	11.41	0.002715	2.04	19.46	19.51	0.65
EIXO	2200	Max WS	39.78	10.02	11.14	11.36	0.002711	2.04	19.47	19.51	0.65
EIXO	2180	Max WS	39.78	9.96	11.09	11.3	0.002711	2.04	19.47	19.51	0.65
EIXO	2160	Max WS	39.78	9.91	11.03	11.25	0.002714	2.04	19.47	19.51	0.65
EIXO	2140	Max WS	39.77	9.85	10.98	11.19	0.002713	2.04	19.47	19.51	0.65
EIXO	2120	Max WS	39.77	9.8	10.93	11.14	0.002718	2.04	19.45	19.51	0.65
EIXO	2100	Max WS	39.77	9.75	10.87	11.09	0.002723	2.05	19.44	19.51	0.65
EIXO	2080	Max WS	39.77	9.69	10.82	11.03	0.002707	2.04	19.48	19.51	0.65
EIXO	2060	Max WS	39.76	9.64	10.76	10.98	0.002712	2.04	19.47	19.51	0.65
EIXO	2040	Max WS	39.75	9.58	10.71	10.92	0.00271	2.04	19.47	19.51	0.65
EIXO	2020	Max WS	39.75	9.53	10.66	10.87	0.002712	2.04	19.46	19.51	0.65
EIXO	2000	Max WS	39.75	9.47	10.6	10.81	0.002715	2.04	19.45	19.51	0.65
EIXO	1980	Max WS	39.75	9.42	10.55	10.76	0.002717	2.04	19.45	19.51	0.65
EIXO	1960	Max WS	39.75	9.36	10.49	10.71	0.002702	2.04	19.48	19.52	0.65
EIXO	1940	Max WS	39.74	9.31	10.44	10.65	0.002699	2.04	19.49	19.52	0.65
EIXO	1920	Max WS	39.74	9.26	10.39	10.6	0.002674	2.02	19.64	19.8	0.65
EIXO	1900	Max WS	39.74	9.2	10.33	10.55	0.002681	2.03	19.53	19.53	0.65
EIXO	1880	Max WS	39.74	9.14	10.28	10.49	0.002637	2.02	19.64	19.55	0.64
EIXO	1860	Max WS	39.73	9.09	10.23	10.44	0.002631	2.02	19.65	19.55	0.64
EIXO	1840	Max WS	39.73	9.04	10.18	10.39	0.002612	2.02	19.7	19.56	0.64
EIXO	1820	Max WS	39.73	8.99	10.13	10.34	0.002578	2.01	19.78	19.58	0.64
EIXO	1800	Max WS	39.73	8.93	10.08	10.29	0.002533	2	19.9	19.6	0.63
EIXO	1780	Max WS	39.72	8.88	10.03	10.23	0.002487	1.98	20.01	19.62	0.63
EIXO	1760	Max WS	39.72	8.82	9.99	10.19	0.002427	1.97	20.18	19.66	0.62
EIXO	1740	Max WS	39.72	8.77	9.95	10.14	0.002346	1.95	20.4	19.7	0.61
EIXO	1720	Max WS	40.8	8.72	9.86	10.08	0.002716	2.06	19.79	19.58	0.65
EIXO	1700	Max WS	40.8	8.66	9.81	10.02	0.002719	2.06	19.78	19.58	0.66
EIXO	1680	Max WS	40.8	8.61	9.75	9.97	0.002723	2.06	19.77	19.57	0.66
EIXO	1660	Max WS	40.79	8.55	9.7	9.91	0.002705	2.06	19.83	19.62	0.65
EIXO	1640	Max WS	40.79	8.5	9.64	9.86	0.002725	2.06	19.76	19.57	0.66
EIXO	1620	Max WS	40.77	8.44	9.59	9.81	0.00271	2.06	19.79	19.58	0.65
EIXO	1600	Max WS	40.77	8.39	9.54	9.75	0.002708	2.06	19.8	19.58	0.65

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
EIXO	1580	Max WS	40.77	8.34	9.48	9.7	0.002708	2.06	19.8	19.58	0.65
EIXO	1560	Max WS	40.77	8.28	9.43	9.64	0.00271	2.06	19.79	19.58	0.65
EIXO	1540	Max WS	40.77	8.23	9.37	9.59	0.00271	2.06	19.79	19.58	0.65
EIXO	1520	Max WS	40.77	8.17	9.32	9.54	0.002707	2.06	19.8	19.58	0.65
EIXO	1500	Max WS	40.77	8.12	9.27	9.48	0.00269	2.05	19.84	19.59	0.65
EIXO	1480	Max WS	40.74	8.06	9.21	9.43	0.002717	2.07	19.72	19.44	0.66
EIXO	1460	Max WS	40.74	8.01	9.16	9.37	0.002687	2.05	19.84	19.59	0.65
EIXO	1440	Max WS	40.74	7.96	9.1	9.32	0.002682	2.05	19.85	19.59	0.65
EIXO	1420	Max WS	40.74	7.9	9.05	9.27	0.002665	2.05	19.9	19.6	0.65
EIXO	1400	Max WS	40.74	7.85	9	9.21	0.002639	2.04	19.97	19.66	0.65
EIXO	1380	Max WS	40.74	7.79	8.95	9.16	0.002614	2.03	20.02	19.63	0.64
EIXO	1360	Max WS	40.74	7.74	8.9	9.11	0.002585	2.03	20.09	19.64	0.64
EIXO	1340	Max WS	40.71	7.69	8.85	9.06	0.002547	2.02	20.18	19.66	0.64
EIXO	1300	Max WS	40.71	7.58	8.76	8.96	0.00244	1.99	20.47	19.72	0.62
EIXO	1280	Max WS	40.71	7.52	8.71	8.91	0.002359	1.97	20.7	19.76	0.61
EIXO	1260	Max WS	40.71	7.47	8.67	8.86	0.002278	1.94	20.94	19.81	0.6
EIXO	1240	Max WS	40.7	7.41	8.63	8.82	0.002181	1.92	21.24	19.87	0.59
EIXO	1220	Max WS	40.7	7.36	8.6	8.78	0.002077	1.89	21.59	19.94	0.58
EIXO	1200	Max WS	40.7	7.31	8.56	8.74	0.001964	1.85	21.99	20.02	0.56
EIXO	1180	Max WS	40.7	7.25	8.53	8.7	0.001842	1.81	22.46	20.12	0.55
EIXO	1160	Max WS	40.69	7.2	8.5	8.66	0.001711	1.77	23.02	20.23	0.53
EIXO	1140	Max WS	40.69	7.14	8.48	8.63	0.001587	1.72	23.6	20.34	0.51
EIXO	1120	Max WS	40.69	7.09	8.46	8.6	0.001464	1.68	24.24	20.47	0.49
EIXO	1100	Max WS	40.69	7.04	8.44	8.57	0.001345	1.63	24.94	20.6	0.47
EIXO	1080	Max WS	40.68	6.99	8.42	8.55	0.001251	1.59	25.55	20.72	0.46
EIXO	1060	Max WS	40.68	6.95	8.4	8.52	0.001205	1.57	25.87	20.78	0.45
EIXO	1040	Max WS	40.68	6.91	8.38	8.5	0.001157	1.55	26.23	20.85	0.44
EIXO	1020	Max WS	40.68	6.88	8.36	8.48	0.001109	1.53	26.6	20.92	0.43
EIXO	1000	Max WS	40.67	6.84	8.34	8.45	0.001062	1.51	26.99	21	0.42
EIXO	980	Max WS	47.28	6.8	8.2	8.38	0.001851	1.91	24.78	20.57	0.56
EIXO	960	Max WS	47.28	6.77	8.16	8.34	0.001851	1.91	24.78	20.57	0.56
EIXO	940	Max WS	47.28	6.73	8.12	8.31	0.001848	1.91	24.79	20.58	0.55
EIXO	920	Max WS	47.24	6.69	8.08	8.27	0.001845	1.91	24.79	20.58	0.55
EIXO	900	Max WS	47.24	6.65	8.05	8.23	0.001844	1.9	24.8	20.58	0.55
EIXO	880	Max WS	47.24	6.62	8.01	8.2	0.001841	1.9	24.81	20.58	0.55
EIXO	860	Max WS	47.24	6.58	7.98	8.16	0.001839	1.9	24.82	20.58	0.55
EIXO	840	Max WS	47.24	6.54	7.94	8.12	0.001838	1.9	24.83	20.58	0.55
EIXO	820	Max WS	47.23	6.51	7.9	8.09	0.001834	1.9	24.84	20.58	0.55
EIXO	800	Max WS	47.23	6.47	7.87	8.05	0.001831	1.9	24.86	20.59	0.55
EIXO	780	Max WS	47.23	6.43	7.83	8.01	0.001826	1.9	24.87	20.59	0.55
EIXO	760	Max WS	47.19	6.4	7.79	7.98	0.00182	1.9	24.89	20.59	0.55
EIXO	740	Max WS	47.19	6.36	7.76	7.94	0.001815	1.89	24.91	20.6	0.55

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch EI	W.S. Elev	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
EIXO	720	Max WS	47.19	6.32	7.67	7.9	0.002281	2.12	22.24	17.94	0.61
EIXO	700	Max WS	47.19	6.28	7.67	7.86	0.001861	1.91	24.71	20.56	0.56
EIXO	680	Max WS	47.19	6.25	7.63	7.82	0.00188	1.92	24.59	20.47	0.56
EIXO	660	Max WS	47.19	6.21	7.6	7.78	0.001865	1.91	24.69	20.56	0.56
EIXO	640	Max WS	47.19	6.17	7.56	7.75	0.001865	1.91	24.69	20.55	0.56
EIXO	620	Max WS	47.18	6.14	7.52	7.71	0.001866	1.91	24.68	20.55	0.56
EIXO	600	Max WS	47.15	6.1	7.49	7.67	0.001866	1.91	24.67	20.55	0.56
EIXO	580	Max WS	47.15	6.06	7.45	7.63	0.001868	1.91	24.66	20.55	0.56
EIXO	560	Max WS	47.15	6.02	7.41	7.6	0.001869	1.91	24.66	20.55	0.56
EIXO	540	Max WS	47.15	5.99	7.37	7.56	0.001869	1.91	24.66	20.55	0.56
EIXO	520	Max WS	47.15	5.95	7.34	7.52	0.001873	1.91	24.64	20.54	0.56
EIXO	500	Max WS	47.14	5.91	7.3	7.49	0.001876	1.91	24.62	20.54	0.56
EIXO	480	Max WS	47.14	5.88	7.26	7.45	0.001877	1.91	24.62	20.54	0.56
EIXO	460	Max WS	47.14	5.84	7.22	7.41	0.001881	1.92	24.6	20.54	0.56
EIXO	440	Max WS	47.14	5.8	7.19	7.37	0.001883	1.92	24.59	20.54	0.56
EIXO	420	Max WS	47.13	5.76	7.15	7.34	0.001888	1.92	24.57	20.53	0.56
EIXO	400	Max WS	47.11	5.73	7.11	7.3	0.001892	1.92	24.54	20.53	0.56
EIXO	380	Max WS	47.11	5.69	7.06	7.26	0.001956	1.95	24.13	20.13	0.57
EIXO	360	Max WS	47.1	5.65	7.02	7.22	0.001978	1.96	24.03	20.08	0.57
EIXO	340	Max WS	47.1	5.62	7	7.18	0.001874	1.9	24.75	20.85	0.56
EIXO	320	Max WS	47.1	5.58	6.95	7.14	0.001932	1.93	24.37	20.49	0.57
EIXO	300	Max WS	47.1	5.54	6.91	7.11	0.001943	1.94	24.32	20.48	0.57
EIXO	280	Max WS	47.1	5.51	6.87	7.07	0.001956	1.94	24.27	20.47	0.57
EIXO	260	Max WS	47.1	5.47	6.83	7.03	0.001973	1.95	24.2	20.46	0.57
EIXO	240	Max WS	47.1	5.43	6.77	6.99	0.002227	2.06	22.81	19.16	0.6
EIXO	220	Max WS	47.09	5.39	6.74	6.94	0.002079	1.98	23.73	20.25	0.59
EIXO	200	Max WS	47.09	5.36	6.7	6.9	0.002094	1.99	23.72	20.37	0.59
EIXO	180	Max WS	47.09	5.32	6.65	6.86	0.002135	2	23.57	20.33	0.59
EIXO	160	Max WS	47.09	5.28	6.61	6.82	0.00219	2.02	23.37	20.3	0.6
EIXO	140	Max WS	47.07	5.25	6.56	6.77	0.002258	2.04	23.13	20.25	0.61
EIXO	120	Max WS	47.07	5.21	6.5	6.72	0.002423	2.09	22.47	19.83	0.63
EIXO	100	Max WS	47.07	5.17	6.45	6.67	0.002479	2.1	22.42	20.11	0.63
EIXO	80	Max WS	47.07	5.14	6.39	6.62	0.002647	2.15	21.94	20.01	0.65
EIXO	60	Max WS	47.07	5.1	6.32	6.57	0.002907	2.21	21.27	19.88	0.68
EIXO	40	Max WS	47.07	5.06	6.23	6.51	0.003366	2.32	20.26	19.67	0.73
EIXO	20	Max WS	47.07	5.02	6.06	6.42	0.005026	2.65	17.76	19.16	0.88

Fonte: HEC-RAS (2016).

3.4 Dimensionamento das Galerias Existentes

Ao longo do trecho do arroio estudado incidem galerias, pontes e travessias que foram redimensionadas para atender as vazões das simulações citadas no item 3.3. As informações foram obtidas a partir do levantamento topográfico, conforme segue:

- ➔ Estaca 5+250: Galeria tubular com $\varnothing = 1,00\text{m}$ e 27,50 metros de comprimento;
- ➔ Estaca 5+120: Galeria tubular com $\varnothing = 1,60\text{m}$ e 6,30 metros de comprimento;
- ➔ Estaca 5+060: Galeria tubular com 3 x $\varnothing = 0,80\text{m}$ e 12,00 metros de comprimento;
- ➔ Estaca 3+830: Galeria tubular com $\varnothing = 1,50\text{m}$ e 4,30 metros de comprimento;
- ➔ Estaca 3+790: Galeria tubular com 2 x $\varnothing = 1,10\text{m}$ e 20,00 metros de comprimento;
- ➔ Estaca 3+750: Galeria tubular com 2 x $\varnothing = 1,00\text{m}$ e 12,00 metros de comprimento;
- ➔ Estaca 3+700: Galeria tubular com $\varnothing = 2,00\text{m}$ e 16,00 metros de comprimento;
- ➔ Estaca 3+320: Galeria tubular com 3 x $\varnothing = 1,10\text{m}$ e 10,00 metros de comprimento;
- ➔ Estaca 2+700: ponte na extensão de 8,00 metros de comprimento;

3.4.1 Equação da Capacidade da Canalização

Para o cálculo da capacidade da canalização foi utilizada a equação de Manning, na qual a vazão de uma canalização a plena seção é dada por:

$$Q_c = \frac{1}{n} \times S \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

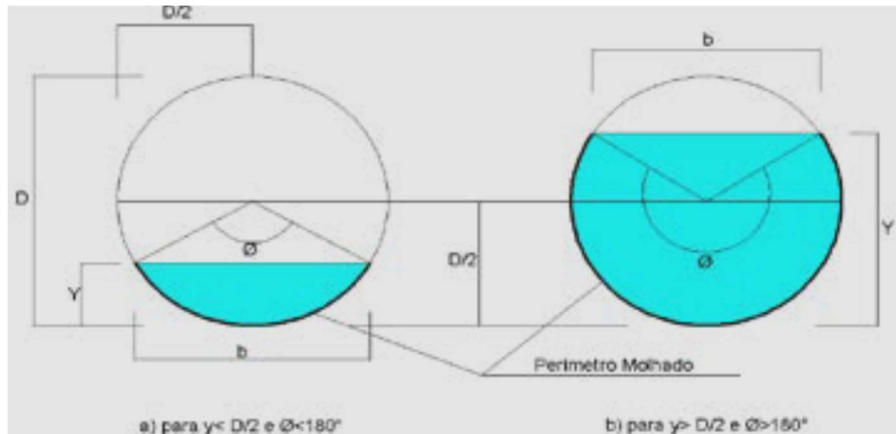
Q_c : vazão do conduto a seção plena (m^3/s);

n : coeficiente de rugosidade de Manning (0,013);

S : área da seção do conduto (m^2);

R : raio Hidráulico (m);

I : declividade adotada para o trecho (m/m);



O dimensionamento das galerias é feito através das equações hidráulicas de movimento uniforme de Manning, considerando a seção do tubo trabalhando em 80% de sua capacidade por motivo de segurança.

Tem-se o fator hidráulico “m”;

$$m = \frac{Q * n}{D^{8/3} * I^{1/2}} \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

m : Coeficiente adimensional

Q : Vazão de projeto (m^3/s);

n : Coeficiente de rugosidade (0,013);

D : Diâmetro do tubo (m);

I : Declividade da tubulação (m/m).

Assim da fórmula de Manning podemos apresentar da seguinte forma e genérica para o diâmetro necessário:

$$D = m * \left(n * Q * I^{-1/2} \right)^{3/8} \quad \text{Equação 14}$$

Onde:

D : Diâmetro necessário (m);

m : Coeficiente adimensional;

n : Coeficiente de rugosidade (0,013);

Q : Vazão de projeto (m^3/s);

I : Declividade da tubulação (m/m).

O diâmetro e espessura dos tubos utilizados é o definido pela NBR 8890/2007 para águas pluviais, imediatamente acima do valor necessário calculado anteriormente.

3.4.2 Equação da Velocidade de Escoamento da Canalização

Para o cálculo da velocidade da canalização também foi utilizada a equação de Manning, conforme abaixo:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \quad \text{Equação 15}$$

Onde:

V: velocidade de escoamento a seção plena (m³/s);

n: coeficiente de rugosidade de Manning (0,013);

R: raio Hidráulico (m);

I: declividade adotada para o trecho (m/m);

3.4.3 Resultados do Dimensionamento

Foi aplicado a sistemática de cálculo conforme os itens 3.4.1 e 3.4.2 e determinou-se as novas galerias em substituição as existentes de maneira a atender a vazão de passagem para TR 15 anos. Abaixo segue resultados supracitados:

- ➔ Estaca 5+250: **Galeria celular (2,00m x 2,00m)** e 27,50 metros de comprimento;
- ➔ Estaca 5+120: **Galeria celular (2,00m x 2,00m)** e 6,30 metros de comprimento;
- ➔ Estaca 5+060: **Galeria celular (2,00m x 2,00m)** e 12,00 metros de comprimento;
- ➔ Estaca 3+830: **Galeria celular (2,00m x 2,00m)** e 4,30 metros de comprimento;
- ➔ Estaca 3+790: **Galeria celular (2,00m x 2,00m)** e 20,00 metros de comprimento;
- ➔ Estaca 3+750: **Galeria celular (2,00m x 2,00m)** e 12,00 metros de comprimento;
- ➔ Estaca 3+700: **Galeria celular (2,00m x 2,00m)** e 16,00 metros de comprimento;
- ➔ Estaca 3+320: **Galeria celular 2 x (2,50m x 2,00m)** e 10,00 metros de comprimento;
- ➔ Estaca 2+700: **Galeria celular 3 x (2,50m x 2,00m)** e 8,00 metros de comprimento;

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo hidrológico teve por objetivo determinar e dimensionar os parâmetros hidrológicos da bacia hidrográfica do Arroio Caju, localizado no município de Nova Santa Rita, com área tributária total de 24,068 km² subdividido em 05 subbacias principais.

Para o dimensionamento hidrológico das sub-bacias utilizou-se a equação IDF (Intensidade-Duração-Frequência) do posto pluviométrico do Aeroporto, tempos de retorno (TR) de 5, 10, 25 e 50 anos, coeficiente curva número (CN) determinados especificamente conforme a ocupação e tipo de solo de cada subbacia e vazões máximas determinadas pelos respectivos hidrogramas via método Soil Conservation Service (SCS).

A simulação hidrodinâmica, realizada para determinação da lâmina d'água máxima de projeto, foi calculada pelo software HEC-RAS em regime não permanente resolvido através das variações da Equação *Saint-Venant* (1871). Foram dimensionadas 03 seções de escoamento do tipo trapezoidal com inclinação dos taludes das margens em 2H:1V e profundidade média na ordem de 2,00 metros para o trecho de estudo do Arroio Caju cujas dimensões estão especificadas no item 3.3 deste estudo atendendo as vazões máximas para um tempo de recorrência (TR) de 25 anos. Ainda assim, conforme o item 3.4, foram dimensionadas todas as galerias tubulares existentes em atendimento as vazões calculadas para um tempo de recorrência (TR) de 15 anos.

Demais especificações e orientações técnicas consultar o Caderno de Encargos do Departamento de Esgotos Pluviais (DEP) e Plano diretor de drenagem urbana (PDDrU). Sistema de proteção contra enchentes. DEP/PMPA/IPH/UFRGS. Porto Alegre: PMPA, 2005.

Porto Alegre, 12 de novembro de 2023.

Anderson Luiz de Souza

Engenheiro Civil – CREA/RS 248.150

5 ANEXOS