# ESTUDO GEOTÉCNICO E TOPOGRÁFICO, HIDROLÓGICO, E PROJETO DE DRENAGEM PLUVIAL

## CLIENTE: MUNICÍPIO DE DONA FRANCISCA

**OBJETO:** PROJETO DE DRENAGEM PLUVIAL – RUA COMANDANTE ALBERTO LUDWIG.

**LOCAL:** RUA COMANDANTE ALBERTO LUDWIG, MUNICÍPIO DE DONA FRANCISCA/RS.

Dona Francisca, novembro de 2025.

# 1. APRESENTAÇÃO

O presente estudo tem como objetivo fornecer subsídios técnicos para o planejamento e dimensionamento de um sistema de drenagem urbana destinado ao escoamento adequado das águas pluviais provenientes de eventos de precipitação intensa. Busca-se, com isso, minimizar a ocorrência de alagamentos, preservar a integridade das vias públicas e edificações, e promover a segurança e o bem-estar da população.

O centro da cidade localiza-se na transição geológica entre o setor montanhoso (oeste/noroeste) e as áreas de menor altitude (sudeste), formando uma sequência de declives que direcionam o escoamento superficial em direção ao centro urbano. Essa configuração contribui para a concentração das águas pluviais em um ponto crítico, provocando alagamentos pontuais. Diante desse cenário, torna-se imprescindível a implantação de redes de drenagem capazes de captar as águas pluviais nos pontos mais elevados da região central da cidade, conduzindo-as de forma segura até o rio e, assim, evitando o alagamento das vias urbanas.

Dessa forma, o presente projeto visa ao desenvolvimento de um sistema eficiente de drenagem pluvial urbana para um trecho do município de Dona Francisca, localizado no estado do Rio Grande do Sul, considerando as características topográficas, hidrológicas e urbanísticas locais, bem como as diretrizes de sustentabilidade e de gestão integrada das águas urbanas.

O município de Dona Francisca está situado no estado do Rio Grande do Sul, possuindo uma área urbana de aproximadamente 2,19 km² e uma população de 3.070 habitantes (IBGE, 2022).

# 2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO – GEOLOGIA E TOPOGRAFIA

## 2.1 Relevo

A região de Dona Francisca caracteriza-se por uma forte variação altimétrica que exerce influência direta no comportamento hidrológico da área urbana. O relevo regional apresenta características típicas da região do rebordo do planalto, e encosta da Serra Geral, com transições abruptas entre áreas montanhosas e vales.

Ao noroeste da cidade destaca-se o Cerro Santo Antônio (428 m), que representa a área mais elevada da região e constitui o principal divisor de águas local. Esta elevação apresenta relevo íngreme, evidenciado pelo adensamento das curvas de nível, caracterizando-se como área de alta energia gravitacional do relevo e velocidades de escoamento superficial elevadas.

O núcleo urbano de Dona Francisca está estrategicamente assentado em área de relevo ondulado a suave ondulado, ocupando cotas altimétricas intermediárias entre o sistema montanhoso circundante e a planície aluvial do Rio Jacuí. Esta localização, embora favorável à ocupação urbana, configura uma zona de convergência natural dos fluxos superficiais provenientes das encostas adjacentes.

A transição entre o setor montanhoso (oeste/noroeste) e as áreas de menor altitude (sudeste) forma uma sequência de declives que direcionam o escoamento superficial em direção ao centro urbano, contribuindo para a concentração de águas pluviais no ponto crítico identificado e provocando alagamentos pontuais.

### 2.1.1 Declividades

A análise das declividades revela um padrão heterogêneo que influencia diretamente as características do escoamento superficial:

Altas declividades (>20%): Concentram-se próximas ao Cerro Santo Antônio e em áreas situadas a norte e oeste da cidade. Estas áreas, evidenciadas pelo forte adensamento das curvas de nível, caracterizam-se por elevada velocidade de escoamento superficial e reduzido tempo de concentração, contribuindo para picos de vazão elevados durante eventos pluviométricos intensos.

Declividades médias (8–20%): Ocorrem nas áreas de transição entre a encosta e o perímetro urbano, constituindo zonas de desaceleração gradual do escoamento.

Estas áreas funcionam como corredores preferenciais de drenagem natural, canalizando os fluxos das encostas em direção ao núcleo urbano.

Declividades baixas (<8%): Predominam no vale e no setor urbano central, especialmente próximo às vias principais como a ERS-348 e ao rio Jacuí. Estas áreas de baixa declividade, apresentam menor capacidade de escoamento natural, favorecendo o acúmulo de águas pluviais.

### 2.1.2 Direções de escoamento superficial

O padrão de drenagem natural da região segue rigorosamente as linhas de maior declividade, determinado pelo gradiente topográfico estabelecido pelas curvas de nível.

Este comportamento define os caminhos preferenciais das águas superficiais e explica a convergência no ponto crítico identificado.

As águas pluviais das áreas mais elevadas do Cerro Santo Antônio escoam predominantemente:

• Para sudeste e leste: Direcionando-se diretamente ao núcleo urbano através dos córregos que drenam a encosta, contribuindo significativamente para o volume de água que converge na esquina entre as Ruas Comandante Alberto Ludwig e Marechal Arthur da Costa e Silva;

• Para sul: Acompanhando o vale associado à ERS-348 e à Rodovia do Imigrante, integrando-se ao sistema de drenagem regional.

No setor urbano, o escoamento converge naturalmente para as áreas de menor cota altimétrica, localizadas próximas à planície aluvial do Rio Jacuí. O fluxo predominante segue a orientação nordeste-sudeste, acompanhando o gradiente topográfico regional e o curso do principal rio da região.

O padrão de drenagem predominante caracteriza-se como dendrítico de vertente para vale, com a cidade de Dona Francisca posicionada estrategicamente na zona de transição entre meia encosta e fundo de vale. Esta configuração topográfica resulta na concentração natural dos fluxos superficiais no núcleo urbano, justificando tecnicamente a necessidade de um sistema de drenagem pluvial adequadamente dimensionado para receber e conduzir com segurança os volumes de escoamento provenientes das bacias de contribuição das encostas circundantes.

## 2.2 Delimitação

A delimitação da bacia hidrográfica de contribuição foi realizada por meio de análise topográfica, com base em dados de Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 30 metros, oriundos do sensor SRTM. O processamento foi efetuado no software QGIS, versão 3.34.13-Prizren, com o auxílio do plugin *WhiteboxTools*.

Foram empregados os algoritmos *D8Pointer*, *FlowAccumulation* e *ExtractStreams* para a modelagem do fluxo superficial, possibilitando a identificação precisa da área total de contribuição com o algoritmo *Watershed*, dos principais cursos d'água, das cotas altimétricas e dos pontos de escoamento concentrado.

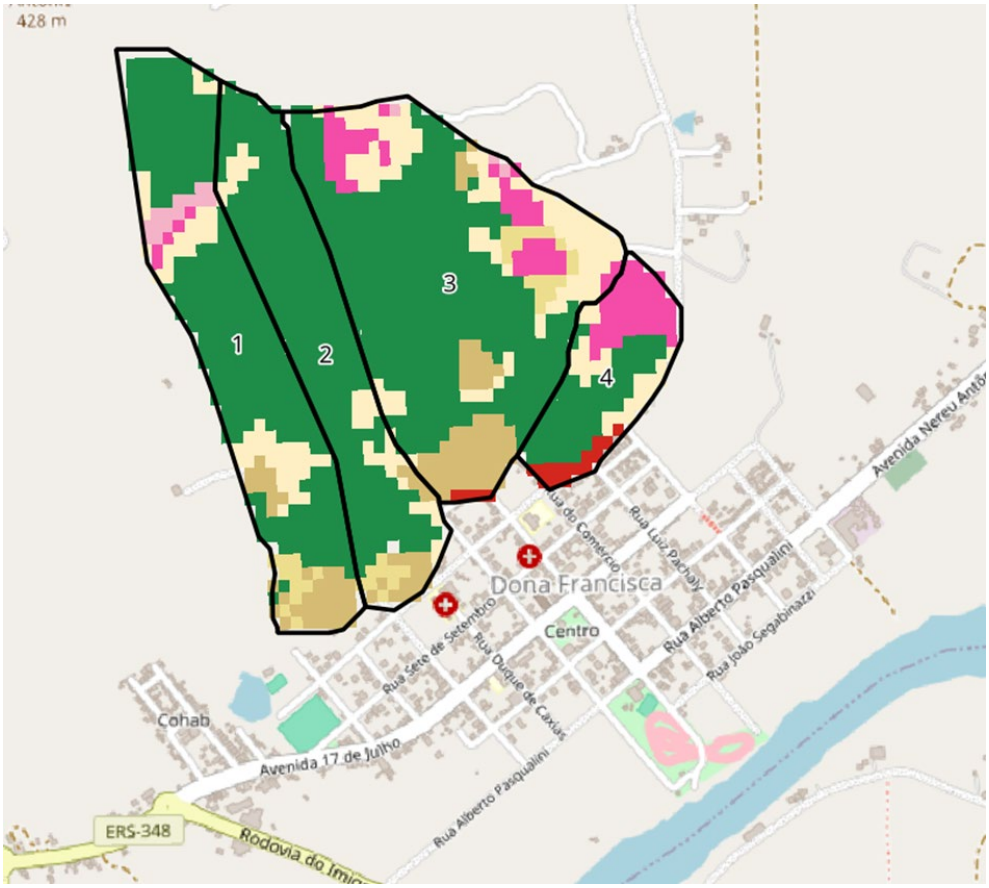
A fim de estimar as vazões de contribuição nos picos hidrológicos, foram inseridos 4 pontos de drenagem estratégicos, considerando especialmente as encostas do município de Dona Francisca/RS. Esta etapa é essencial para a caracterização dos pontos críticos no sistema de drenagem existente e para a definição de diretrizes no dimensionamento das estruturas de drenagem urbana a ser executado.

## 2.3 Uso e Cobertura da Terra

Para a caracterização do uso e ocupação do solo na área de estudo, foram delimitadas 4 sub-bacias de contribuição que drenam para a Rua Comandante Alberto Ludwig. A caracterização das classes de uso e cobertura da terra foi realizada utilizando os dados da Coleção 9 do MapBiomas (ano de 2023).

A metodologia empregada considerou as seguintes classes de uso do solo para fins de cálculo dos coeficientes de escoamento superficial:

Figura 2.1: Uso e cobertura de terra.




Fonte: Autor.

Figura 2.2: Uso e cobertura de terra – SB1.

| | Categoria | Porcentagem |
|---|---|---|
| | Formação Florestal | 72.84% |
| | Mosaico de Usos | 14.42% |
| | Soja | 9.13% |
| | Outras Lavouras Temporárias | 3.61% |
| | Outros | 0.00% |

Fonte: Autor.

Figura 2.3: Uso e cobertura de terra – SB2.

| | Categoria | Porcentagem |
|---|---|---|
| | Formação Florestal | 92.03% |
| | Mosaico de Usos | 7.97% |
| | Outros | 0.00% |

Fonte: Autor.

Figura 2.4: Uso e cobertura de terra – SB3.

| | Categoria | Porcentagem |
|---|---|---|
| | Formação Florestal | 62.03% |
| | Formação Campestre | 8.59% |
| | Pastagem | 3.09% |
| | Mosaico de Usos | 17.18% |
| | Outras Lavouras Temporárias | 8.59% |
| | Outros | 0.52% |

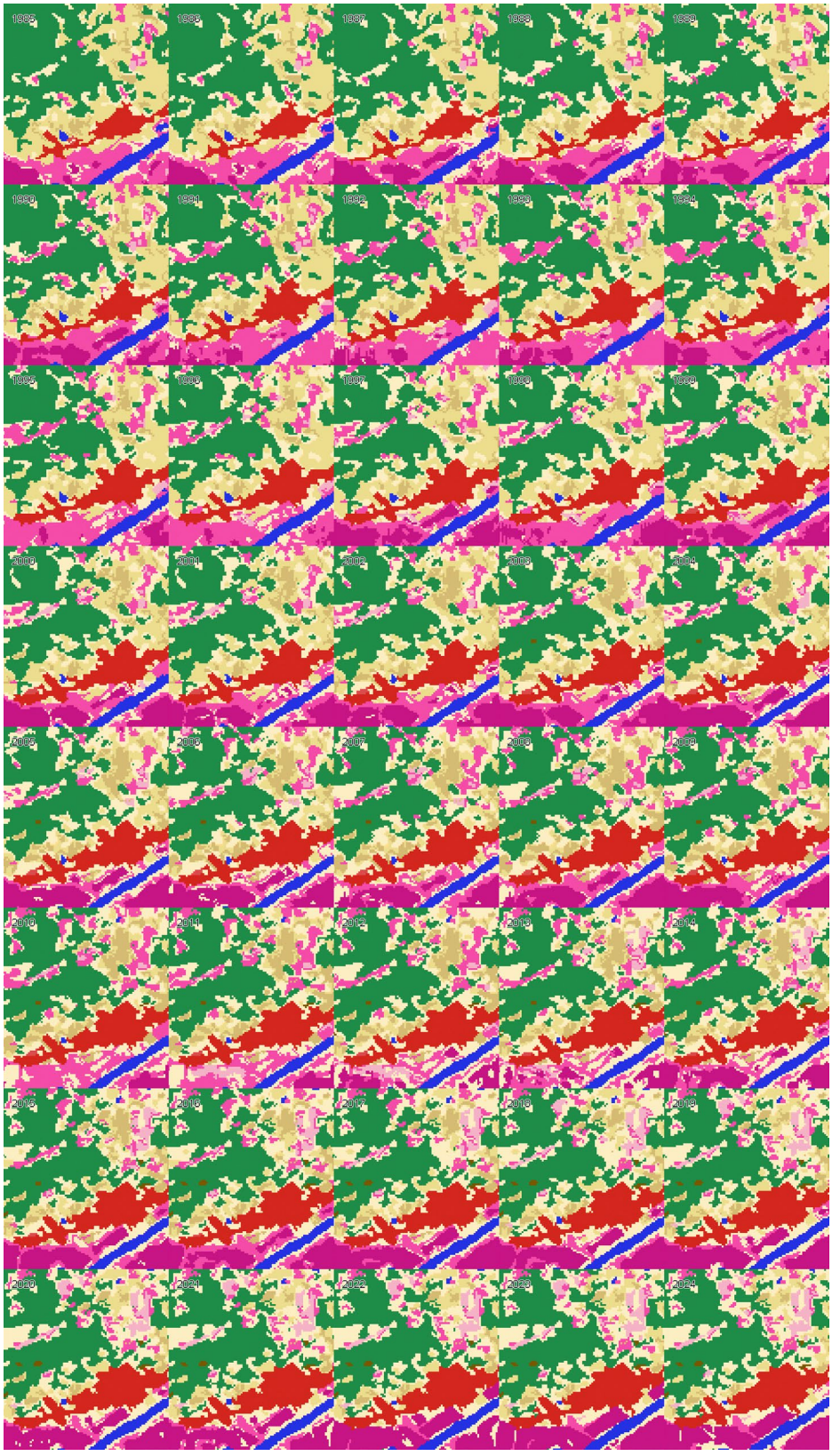
Fonte: Autor.

Figura 2.5: Uso e cobertura de terra – SB4.

| | Categoria | Porcentagem |
|---|---|---|
| | Formação Florestal | 48.03% |
| | Mosaico de Usos | 20.47% |
| | Outras Lavouras Temporárias | 30.71% |
| | Outros | 0.79% |

Fonte: Autor.

Figura 2.6: Evolução do uso e cobertura da terra entre 1985 e 2024.



Fonte: Autor.

## 2.4 Pedologia

A análise pedológica da área de estudo evidencia que a maior parte do território municipal é composta por Argissolos, predominante nas porções mais elevadas do município, apresentando textura argilosa e moderada suscetibilidade à erosão, exigindo atenção especial em projetos de uso e ocupação do solo.

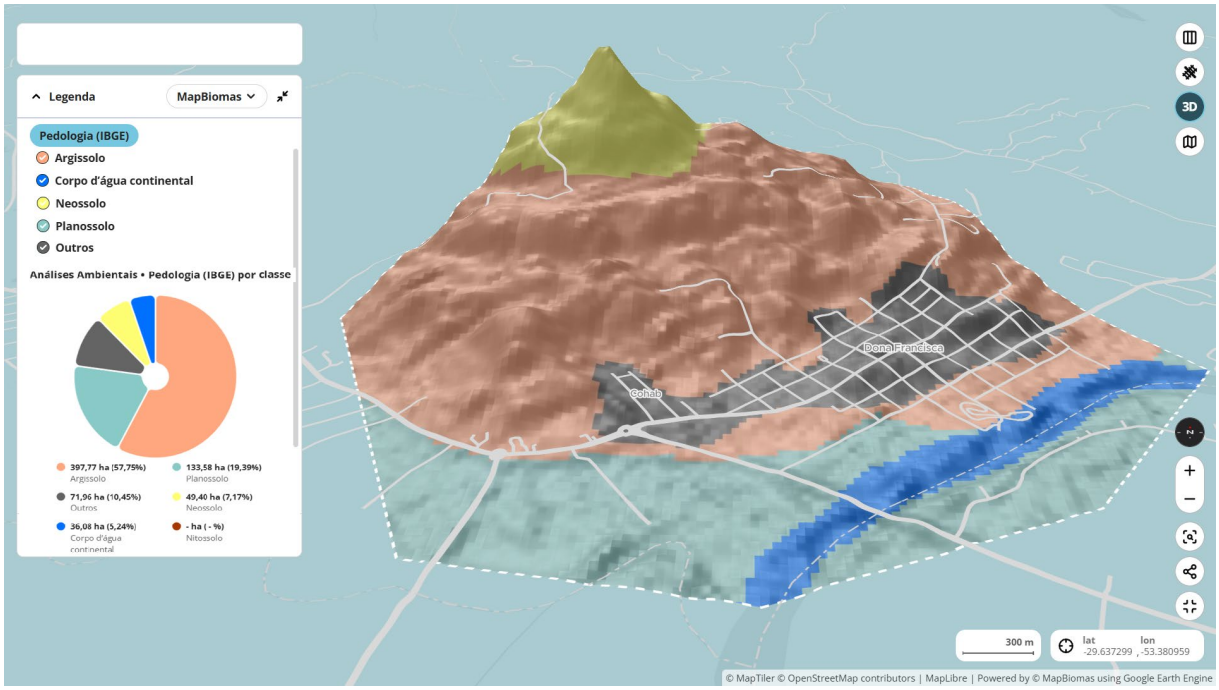
Os Neossolos estão concentrados nas áreas de maior declividade, próximas aos topos de morros, caracterizando solos rasos e com baixa capacidade de retenção de água, o que demanda manejo adequado para evitar processos erosivos.

Os Planossolos localizam-se principalmente em regiões mais planas, próximas à transição para áreas de várzea, o que pode implicar limitações de drenagem e maior risco de encharcamento em períodos chuvosos.

A presença de Corpos d’água está associada ao leito do rio principal e às áreas alagáveis, que desempenham papel fundamental na dinâmica hidrológica local. Por fim, outras classes de solos somam, distribuídas de forma pontual no território.

A representação espacial em três dimensões (3D) permite visualizar a relação entre a distribuição dos solos, o relevo e a malha urbana. Nota-se que a área urbana de Dona Francisca e a localidade de Cohab estão assentadas predominantemente sobre Argissolos, o que sugere a necessidade de práticas de manejo de águas pluviais e contenção de processos erosivos, especialmente em áreas de declive.

Figura 2.7: Pedologia na região do projeto.

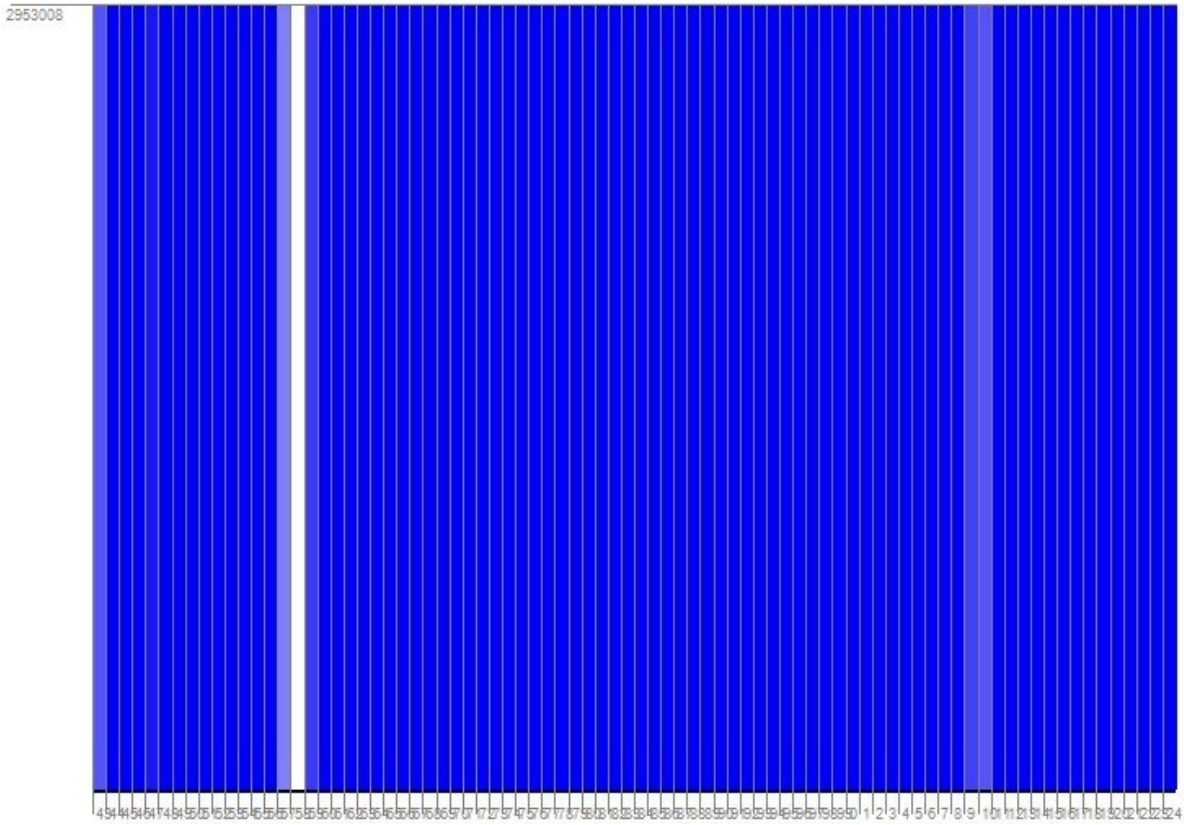



Fonte: IBGE

# 3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS

Os dados pluviométricos da região foram obtidos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), pelo portal HIDROWEB. A estação de código 2953008 Dona Francisca foi utilizada para análises de chuvas. A Figura 3.1 apresenta uma análise de disponibilidade de dados através de um gráfico do tipo Gantt. A série temporal histórica contém registros do período 1943 a 2024.

Figura 3.1: Análise de disponibilidade de dados pluviométricos da estação 2953008.

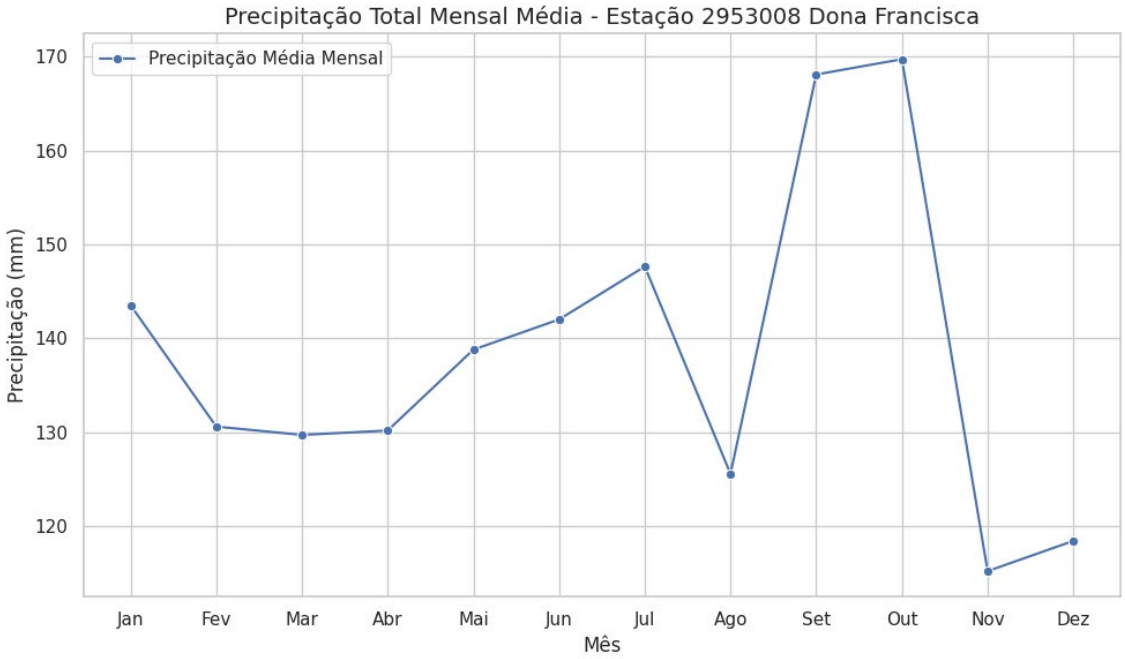



Fonte: Autor.

A Figura 3.2 apresenta a variação da precipitação total mensal média, expressa em milímetros (mm), ao longo dos doze meses do ano. Observa-se que os maiores valores de precipitação ocorrem nos meses de setembro (168,11 mm) e outubro (169,74 mm), indicando um período mais chuvoso no início da primavera. Os menores índices são registrados em novembro (115,17 mm) e dezembro (118,39 mm), sugerindo redução das chuvas na transição para o verão.

A distribuição ao longo do ano apresenta relativa uniformidade, com variações moderadas entre os meses, embora com um pico notável na primavera e valores levemente mais baixos no fim do ano. Esses dados permitem identificar padrões sazonais de precipitação que podem ser úteis para estudos hidrológicos, planejamento agrícola e gestão de recursos hídricos.

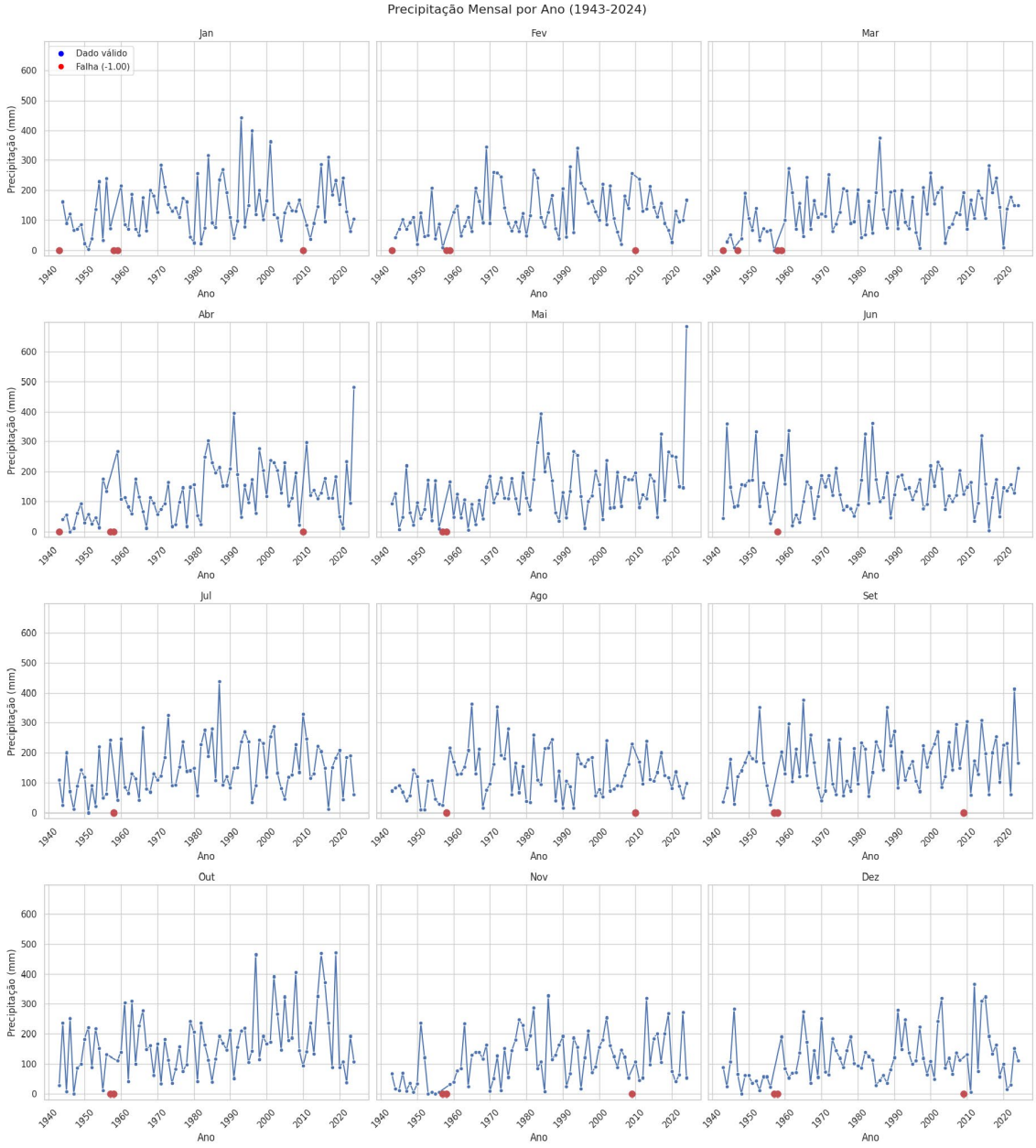
Figura 3.2: Precipitação total mensal média (mm) ao longo do ano.




Fonte: Autor.

A figura 3.3 apresenta a série histórica completa de precipitação mensal em gráficos individuais, onde se destaca de forma marcante o recorde absoluto registrado em maio de 2024, com aproximadamente 700mm de chuva acumulada - valor que supera em mais de 2,5 vezes a média histórica para este mês. O mês de abril de 2024 também apresentou acumulado excepcional (481mm), configurando um evento extremo bimestral sem precedentes na série de 82 anos. Estes registros críticos, visualmente evidentes nos gráficos correspondentes, devem orientar o dimensionamento hidrológico conservativo do sistema de drenagem, particularmente na revisão das curvas IDF e vazões de projeto. As barras azuis representam os dados válidos, enquanto os marcadores vermelhos indicam falhas na série temporal de chuva.

Figura 3.3: Série histórica de Precipitação Mensal (1943-2024).

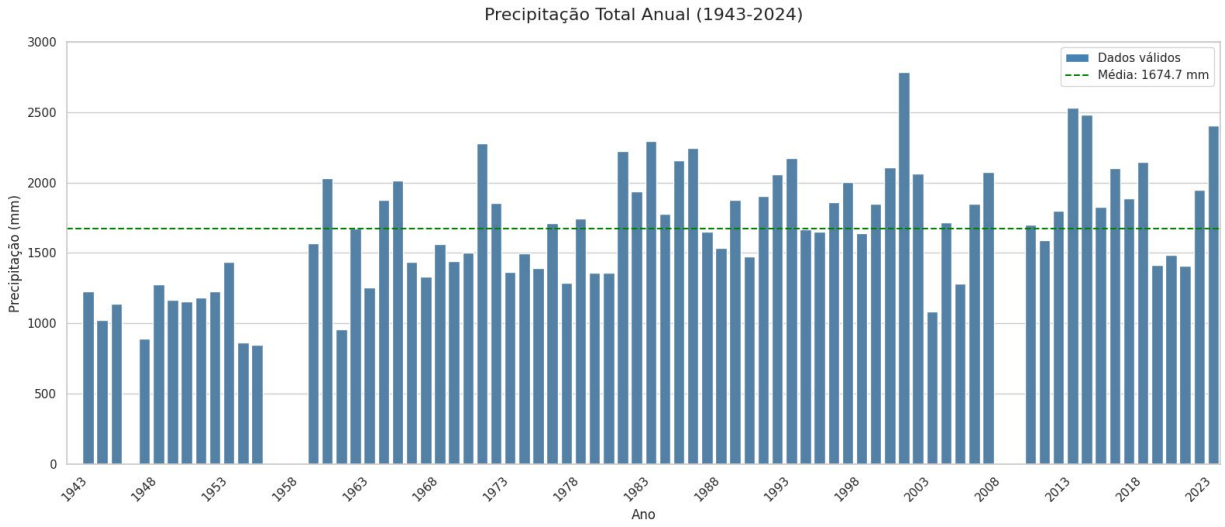



Fonte: Autor.

O gráfico apresentado na Figura 3.4 apresenta a série histórica completa de precipitação acumulada anual, destacando a significativa variabilidade interanual característica do regime pluviométrico da região. A média histórica do período (excluindo anos com falhas) é de 1.674,7 mm, porém com expressivas oscilações entre anos secos (como 2020 a 2022 com aproximadamente 1400 mm) e anos excepcionalmente chuvosos (como 2002 com 2.783,3 mm e 2024 com 2.402,1 mm). Particular atenção deve ser dada ao ano de 2024, que apresenta o segundo maior

acumulado da série, superado apenas por 2002, fato que reforça a necessidade de revisão dos parâmetros hidrológicos para projetos de drenagem urbana face à inquestionável intensificação e frequência de eventos extremos.

Figura 3.4: Série histórica de Precipitação total anual (1943-2024).

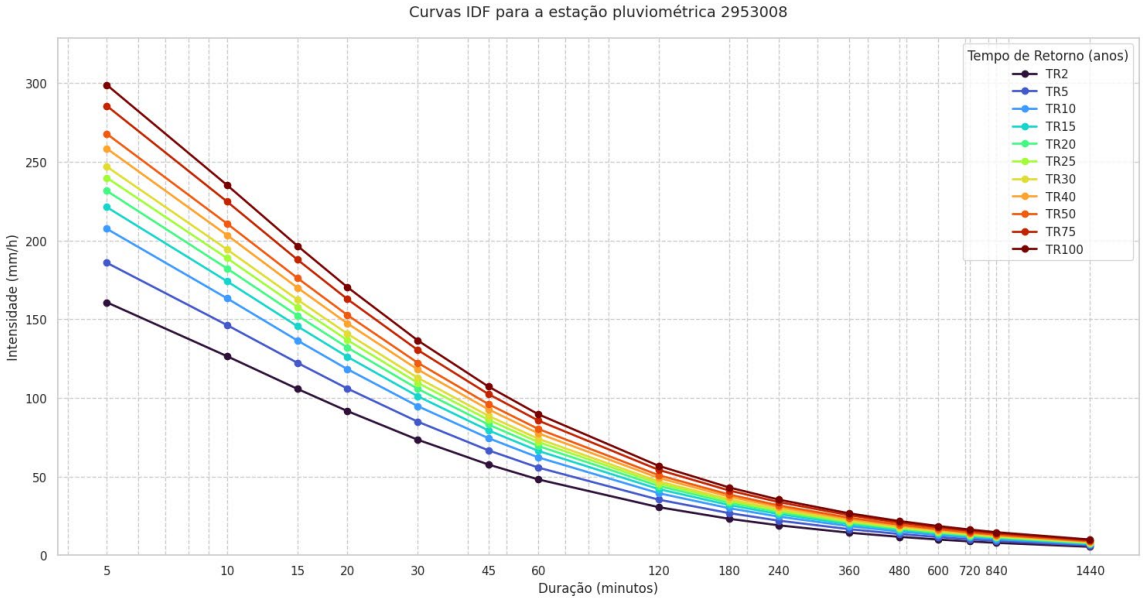



Fonte: Autor.

## 3.1 Curva Intensidade - Duração – Frequência

Com base na necessidade de considerar os eventos extremos recentes, principalmente do ano de 2024, utilizou-se como premissa que o projeto seja dimensionado com uma curva Intensidade-Duração-Frequência (IDF) atualizada, que considere os dados recentes da série temporal. Com base nisso, foram geradas a partir de uma iniciativa do grupo de trabalho da ANA. As curvas IDF geradas são para tempos de retorno TR de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 75 e 100 anos, conforme apresentado na Figura 3.5.

Figura 3.5: Curva IDF para o município de Dona Francisca.




Fonte: Autor.

A equação IDF obtida foi a seguinte:

$$i = \frac{a \,.\, TR^{b}}{(t + c)^{d}}$$

$$i = \frac{885{,}47 \,.\, TR^{0{,}16}}{(t + 7{,}59)^{0{,}72}}$$

## 3.2 Hietogramas Sintéticos - Método dos Blocos Alternados

Para a geração das chuvas de projeto associadas aos tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos, aplicou-se o método dos blocos alternados, conforme apresentado nas Figuras 3.9, 3.13 e 3.17. Esse procedimento é amplamente utilizado em estudos hidrológicos para gerar hietogramas sintéticos a partir de uma chuva de projeto total, permitindo distribuir os volumes de precipitação ao longo do tempo de forma a

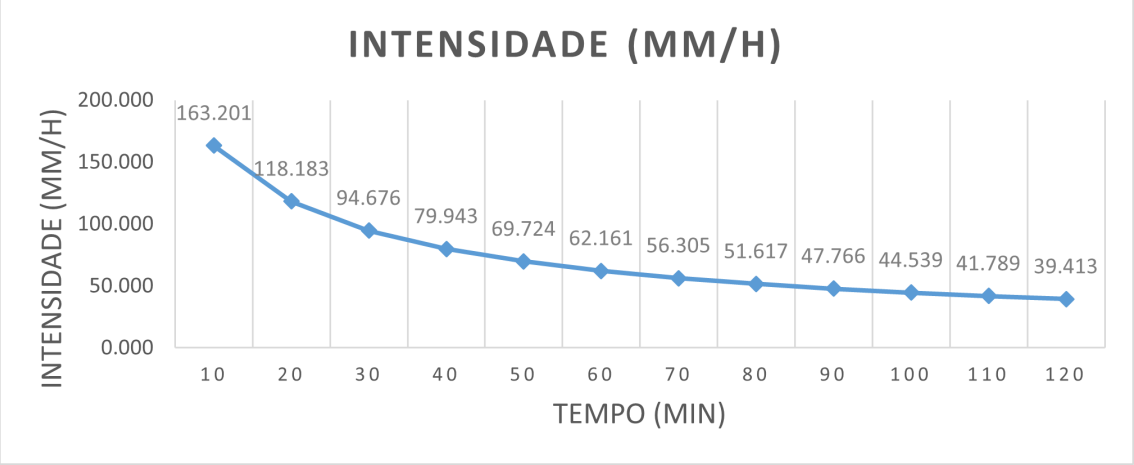
representar eventos críticos para o dimensionamento de sistemas de drenagem urbana.

O método consiste em ordenar as alturas de precipitação incremental obtidas de uma curva de intensidade-duração-frequência (IDF) para uma determinada duração total de chuva adotada como 10 minutos e tempo de retorno (10, 25 e 50 anos), posicionando o maior valor no centro do hietograma e distribuindo os demais blocos alternadamente à esquerda e à direita. Assim, o resultado é uma chuva sintética com maior intensidade concentrada no meio do evento, gerando uma resposta mais crítica para análise de picos de vazão e volumes escoados.

### 3.2.1 Tempo de retorno de 10 anos

A Figura 3.6 apresenta a variação da intensidade da chuva em função da duração para o tempo de retorno de 10 anos, conforme obtida a partir da equação IDF ajustada para a região de estudo.

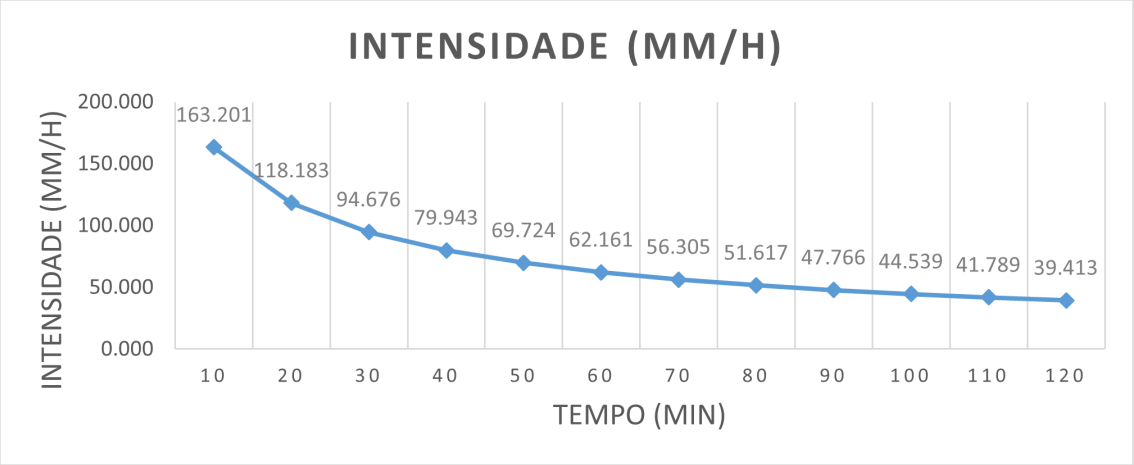
Figura 3.6: Intensidade para TR10.




Fonte: Autor.

A Figura 3.7 mostra a precipitação acumulada ao longo do tempo para TR de 10 anos, evidenciando a evolução progressiva do volume precipitado e permitindo avaliar a distribuição temporal do evento crítico.

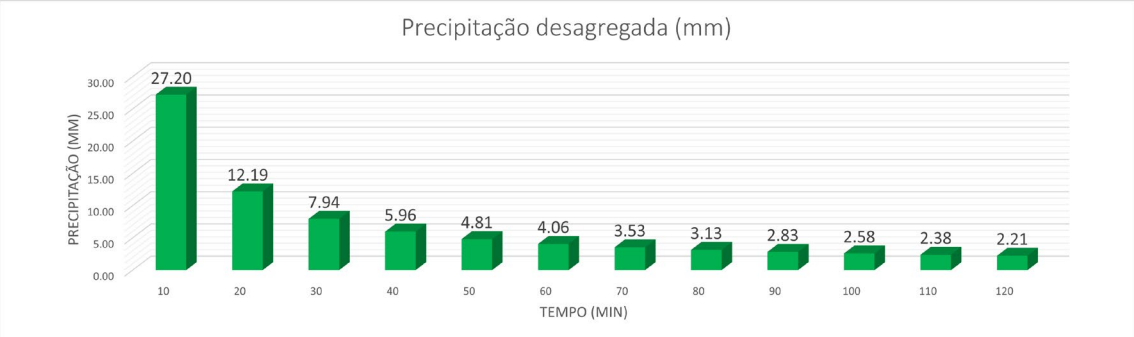
Figura 3.7: Precipitação acumulada para TR10.




Fonte: Autor.

A Figura 3.8 apresenta a chuva desagregada em incrementos de tempo para TR = 10 anos, evidenciando os blocos de precipitação incremental que servirão de base para a aplicação do método dos blocos alternados.

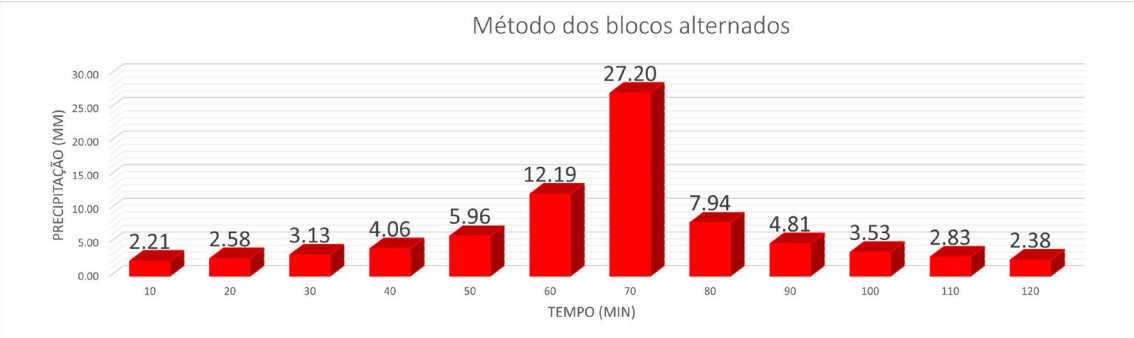
Figura 3.8: Chuva desagregada para TR10.




Fonte: Autor.

A Figura 3.9 apresenta o hietograma sintético obtido pelo método dos blocos alternados para TR = 10 anos, no qual o maior bloco é centralizado e os demais são distribuídos alternadamente, resultando em um evento crítico para cálculo de vazões de pico.

Figura 3.9: Hietograma sintético pelo método dos blocos alternados para TR10.

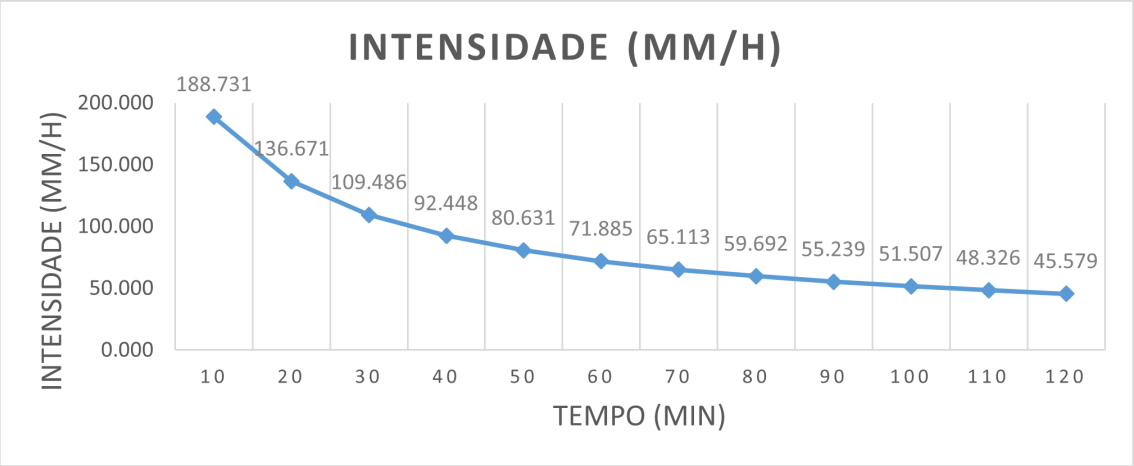



Fonte: Autor.

### 3.2.2 Tempo de retorno de 25 anos

A Figura 3.10 apresenta a variação da intensidade da chuva em função da duração para o tempo de retorno de 25 anos, conforme obtida a partir da equação IDF ajustada para a região de estudo.

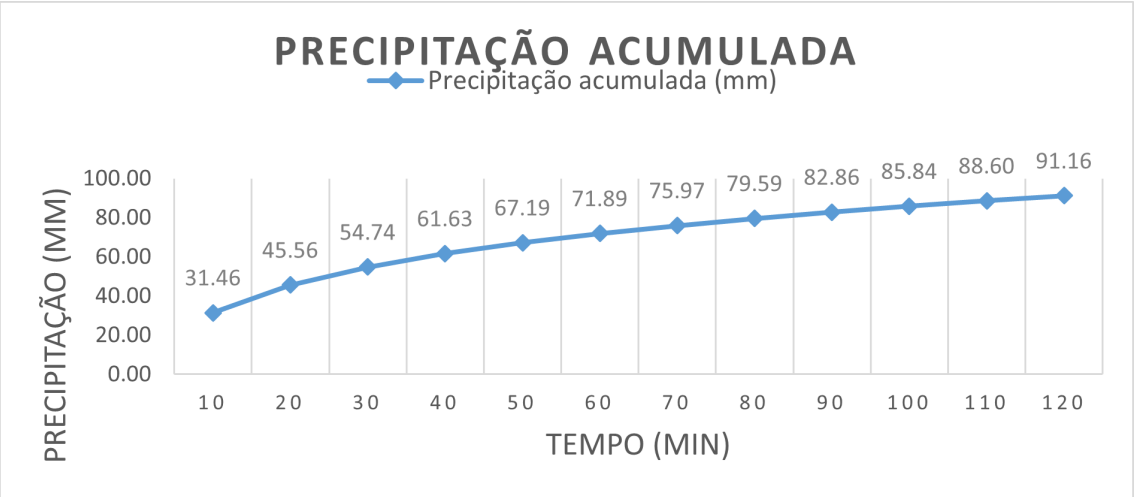
Figura 3.10: Intensidade para TR25.




Fonte: Autor.

A Figura 3.11 mostra a precipitação acumulada ao longo do tempo para TR de 25 anos, evidenciando a evolução progressiva do volume precipitado e permitindo avaliar a distribuição temporal do evento crítico.

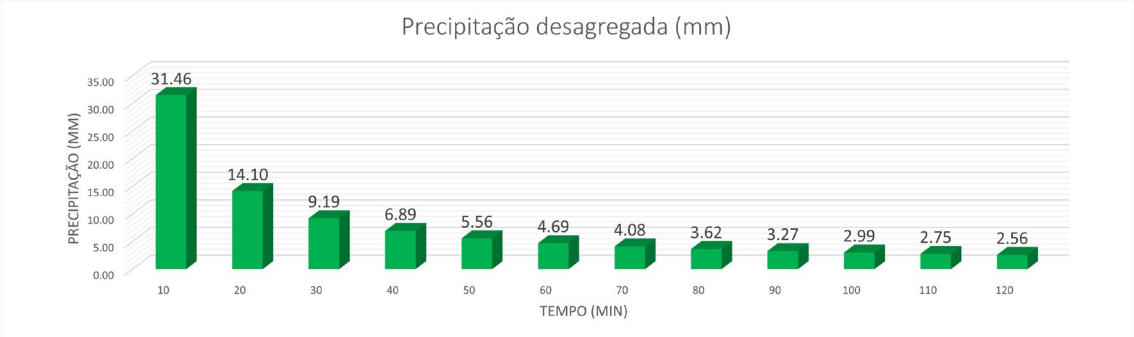
Figura 3.11: Precipitação acumulada para TR25.




Fonte: Autor.

A Figura 3.12 apresenta a chuva desagregada em incrementos de tempo para TR = 25 anos, evidenciando os blocos de precipitação incremental que servirão de base para a aplicação do método dos blocos alternados.

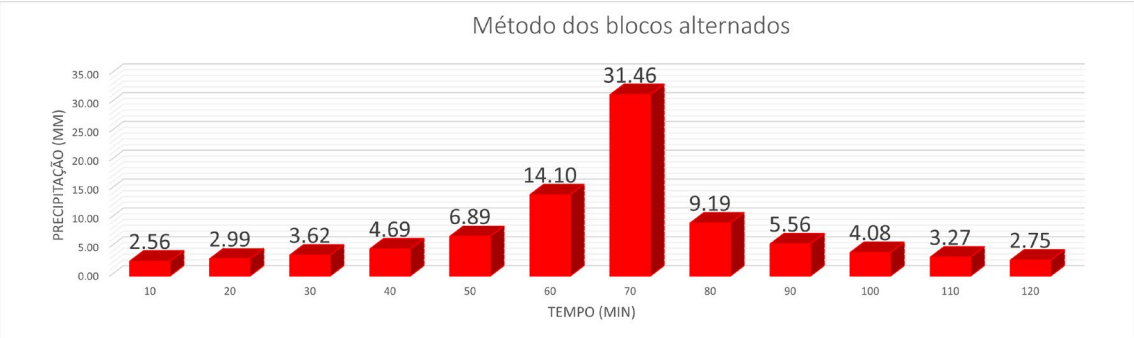
Figura 3.12: Chuva desagregada para TR25.




Fonte: Autor.

A Figura 3.13 apresenta o hietograma sintético obtido pelo método dos blocos alternados para TR = 25 anos, no qual o maior bloco é centralizado e os demais são distribuídos alternadamente, resultando em um evento crítico para cálculo de vazões de pico.

Figura 3.13: Hietograma sintético pelo método dos blocos alternados para TR25.

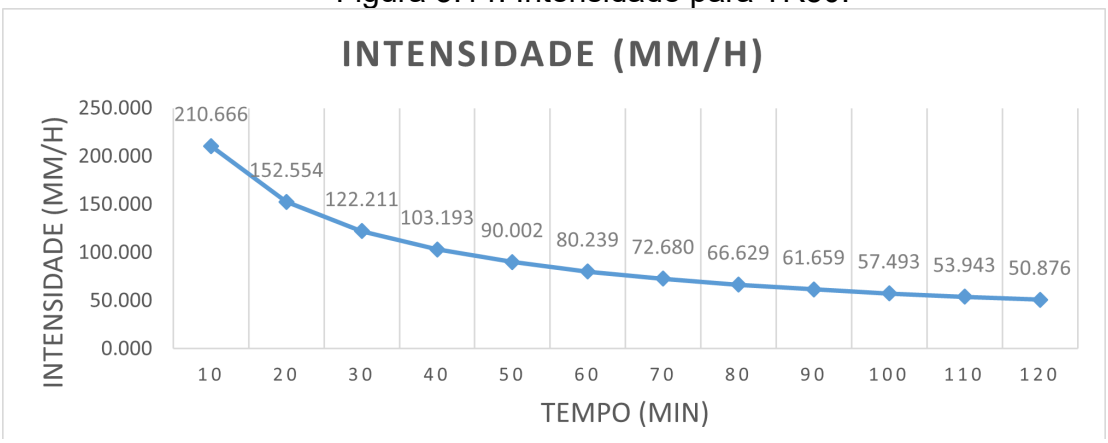



Fonte: Autor.

### 3.2.3 Tempo de retorno de 50 anos

A Figura 3.14 apresenta a variação da intensidade da chuva em função da duração para o tempo de retorno de 50 anos, conforme obtida a partir da equação IDF ajustada para a região de estudo.

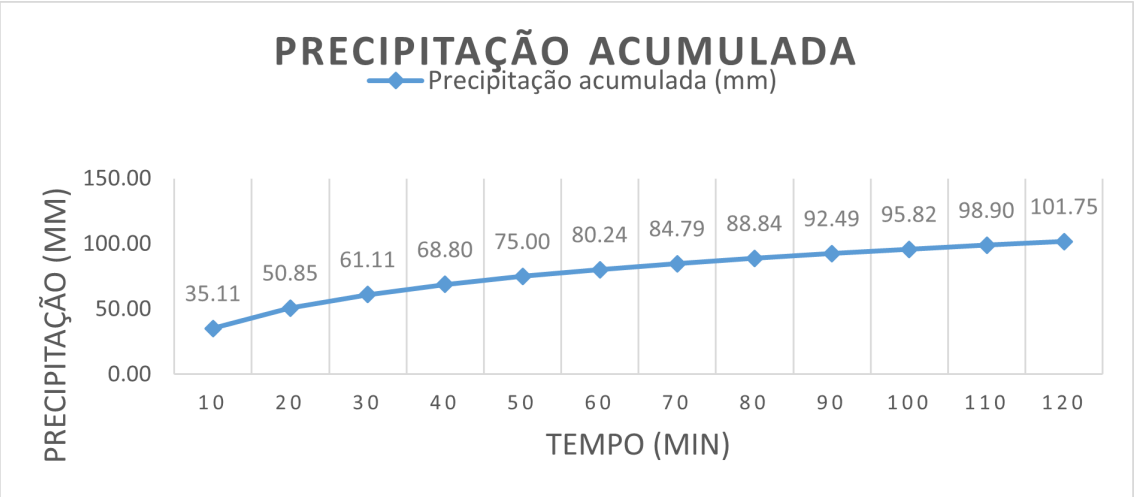
Figura 3.14: Intensidade para TR50.




Fonte: Autor.

A Figura 3.15 mostra a precipitação acumulada ao longo do tempo para TR de 50 anos, evidenciando a evolução progressiva do volume precipitado e permitindo avaliar a distribuição temporal do evento crítico.

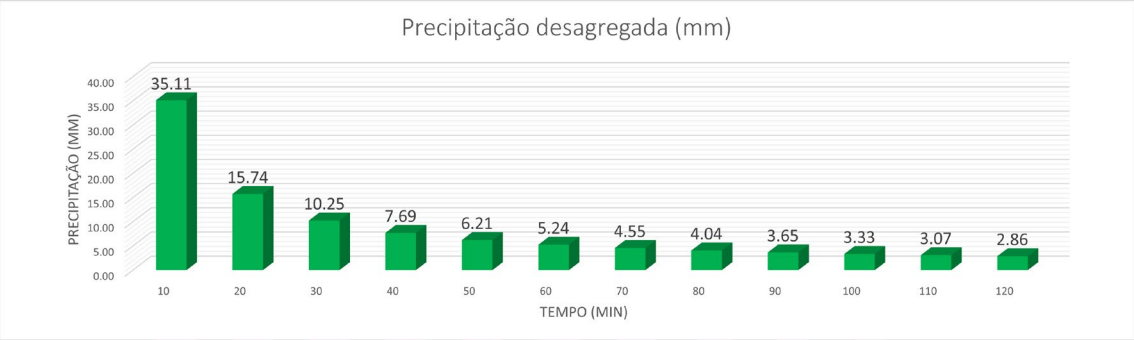
Figura 3.15: Precipitação acumulada para TR50.




Fonte: Autor.

A Figura 3.16 apresenta a chuva desagregada em incrementos de tempo para TR de 50 anos, evidenciando os blocos de precipitação incremental que servirão de base para a aplicação do método dos blocos alternados.

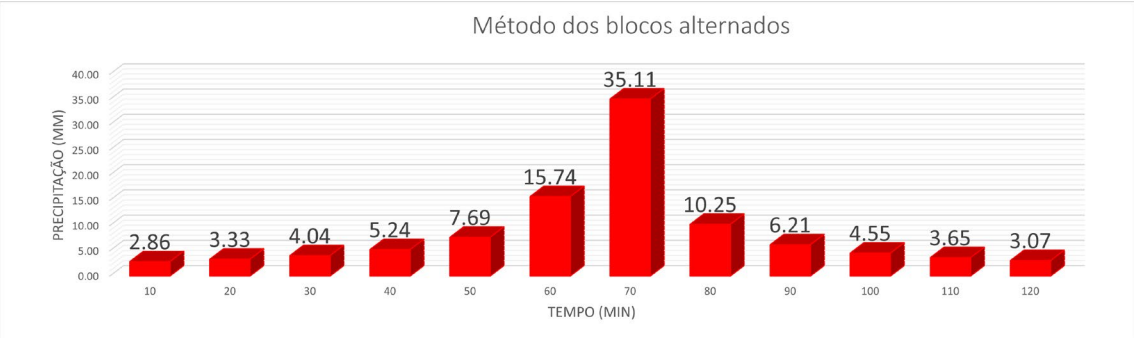
Figura 3.16: Chuva desagregada para TR50.




Fonte: Autor.

A Figura 3.17 apresenta o hietograma sintético obtido pelo método dos blocos alternados para TR de 50 anos, no qual o maior bloco é centralizado e os demais são distribuídos alternadamente, resultando em um evento crítico para cálculo de vazões de pico.

Figura 3.17: Hietograma sintético pelo método dos blocos alternados para TR50.


Método dos blocos alternados
PRECIPITAÇÃO (MM)
40.00
35.00
30.00
25.00
20.00
15.00
10.00
5.00
0.00
2.86
3.33
4.04
5.24
7.69
15.74
35.11
10.25
6.21
4.55
3.65
3.07
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
TEMPO (MIN)

Fonte: Autor.

# 4 HITÓRICOS DE INUNDAÇÕES DO RIO JACUÍ NO MUNICÍPIO DE DONA FRANCISCA/ RS

O município de Dona Francisca apresenta histórico recorrente de inundações associadas ao Rio Jacuí, principal curso d'água que atravessa a região. A combinação de chuvas intensas nas cabeceiras da bacia, características topográficas favoráveis ao acúmulo de água e a dinâmica fluvial do Jacuí configuram o município como área de elevada suscetibilidade a eventos de inundação.

## 4.1 Eventos Históricos Registrados

A enchente de 1941 representa o primeiro grande evento documentado na região, quando chuvas torrenciais se estenderam por mais de quatro semanas entre abril e maio, elevando o nível do Rio Jacuí e afluentes de forma sem precedentes. O evento, influenciado por um intenso El Niño, registrou precipitações superiores a 1.000 mm em algumas localidades do estado, causando inundações catastróficas ao longo de toda a bacia do Jacuí. Relatos de moradores que vivenciaram as duas enchentes históricas (1941 e 2024) descrevem 12 dias e 12 noites de chuva ininterrupta, com águas atingindo sobrados e isolamento completo da região. Embora registros sistemáticos de eventos intermediários sejam escassos na literatura disponível, a região apresenta histórico de alagamentos recorrentes.

## 4.2 A Enchente de Maio de 2024

O evento de maio de 2024 configurou-se como a maior catástrofe climática da história do Rio Grande do Sul, superando inclusive a enchente histórica de 1941 em diversos pontos de medição. Entre 27 de abril e início de maio de 2024, precipitações extremas de 500 a 700 mm atingiram várias cidades gaúchas, correspondendo a um terço da média histórica anual, enquanto outras localidades registraram entre 300 e 400 mm apenas entre 3 e 5 de maio.

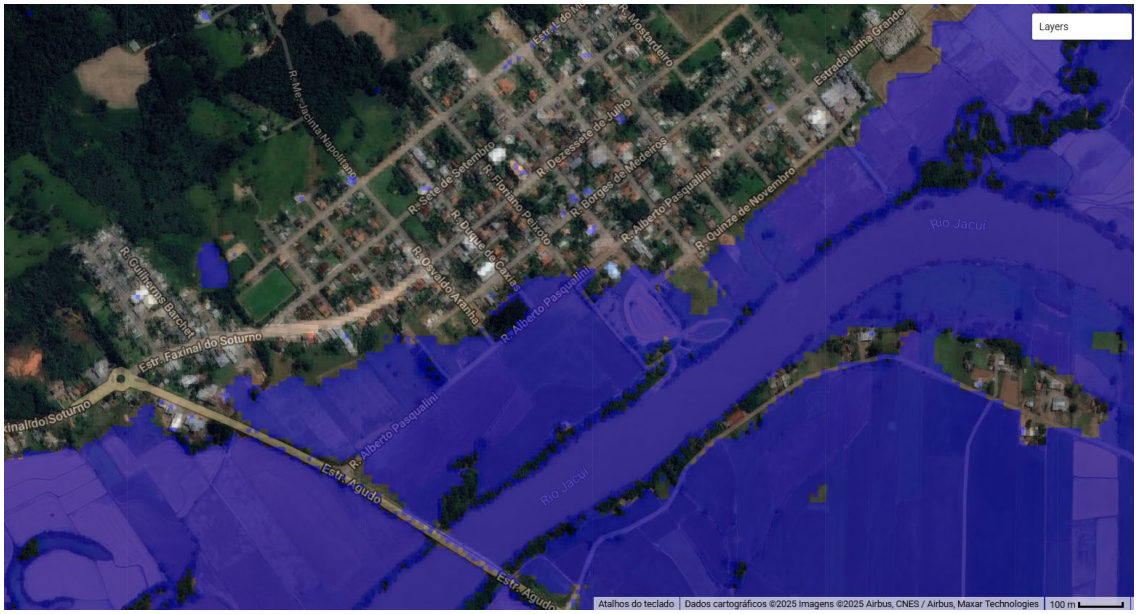
Em Dona Francisca, a enchente de 2024 resultou em inundações e enxurradas em diversos pontos da zona urbana, com o Rio Jacuí ultrapassando significativamente a cota de inundação estabelecida em 7,50 metros. A Defesa Civil emitiu alertas

severos para elevação do rio, classificando o risco como "muito alto" durante o período crítico do evento.

O mapeamento da área alagada foi realizado utilizando imagens do satélite Sentinel-2A, através da aplicação do Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI), metodologia que permite identificar com precisão a extensão das áreas inundadas mesmo sob cobertura de nuvens. As imagens obtidas em 6 de maio de 2024 demonstram a magnitude do evento, com o Rio Jacuí extravasando amplamente seu leito natural e inundando áreas urbanas e rurais de Dona Francisca.

A Figura 4.1 apresenta o mapa de classificação NDWI derivado de imagem Sentinel-2, evidenciando a extensão máxima da inundação de maio de 2024 em Dona Francisca. A análise espacial revela que as águas do Rio Jacuí atingiram cotas históricas, inundando não apenas as áreas de várzea tradicional, mas também setores urbanos sem histórico prévio de alagamento, configurando um evento de recorrência extremamente rara.

Figura 4.1: Classificação de NDWI.




Fonte: Autor.

A Figura 4.2 apresenta a imagem de composição colorida verdadeira (RGB) do satélite Sentinel-2, capturada em 6 de maio de 2024, durante o pico do evento de inundação. Nesta visualização, é possível identificar diretamente a coloração característica das águas do Rio Jacuí durante a cheia, que apresenta tonalidade marrom-alaranjada devido à elevada carga de sedimentos em suspensão, resultado

dos processos erosivos intensificados pelas chuvas extremas ocorridas nas cabeceiras da bacia.

Figura 4.2: Imagem Sentinel-2 em 6 de maio de 2024.




Fonte: Autor.

A comparação visual entre a imagem de 6 de maio de 2024 e registros anteriores à enchente evidencia a magnitude excepcional do evento, com a lâmina d'água estendendo-se por quilômetros além do leito natural do rio. A turbidez acentuada das águas, claramente visível na imagem em cores naturais, reflete não apenas o volume extraordinário de precipitação ocorrida no período (entre 300 e 400 mm em apenas três dias na região), mas também a mobilização massiva de material particulado ao longo de toda a bacia hidrográfica.

O registro do Sentinel-2 foi possibilitado pela abertura momentânea da cobertura de nuvens no dia 6 de maio, após dias consecutivos de tempo fechado que impediram o imageamento óptico da região. Esta janela de observação permitiu documentar com clareza a extensão espacial da inundação no momento em que a barragem da usina de Dona Francisca atingiu capacidade máxima do vertedouro, com vazões de 10.600 m³/s correspondentes a uma cheia deca milenar, de acordo com a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). As feições geomorfológicas da planície de inundação do Rio Jacuí, incluindo meandros, paleomeandros e áreas de deposição aluvial, tornam-se evidentes sob a lâmina d'água, demonstrando a reativação de antigos

canais fluviais e zonas de extravasamento historicamente utilizadas pelo rio em eventos extremos.

### 4.3 Características e Dinâmica das Inundações

O comportamento hidrológico do Rio Jacuí em Dona Francisca é fortemente influenciado pelas precipitações nas cabeceiras da bacia, localizadas ao norte do município. O coordenador da Defesa Civil municipal destaca que a preocupação maior ocorre "quando chove nas cabeceiras", sendo o município altamente dependente das informações de medição das barragens de Passo Real, Maia Filho e Itaúba para antecipação de eventos críticos. Esta dinâmica configura um tempo de concentração que permite certo grau de preparação, embora eventos extremos como o de 2024 possam superar qualquer capacidade de resposta.

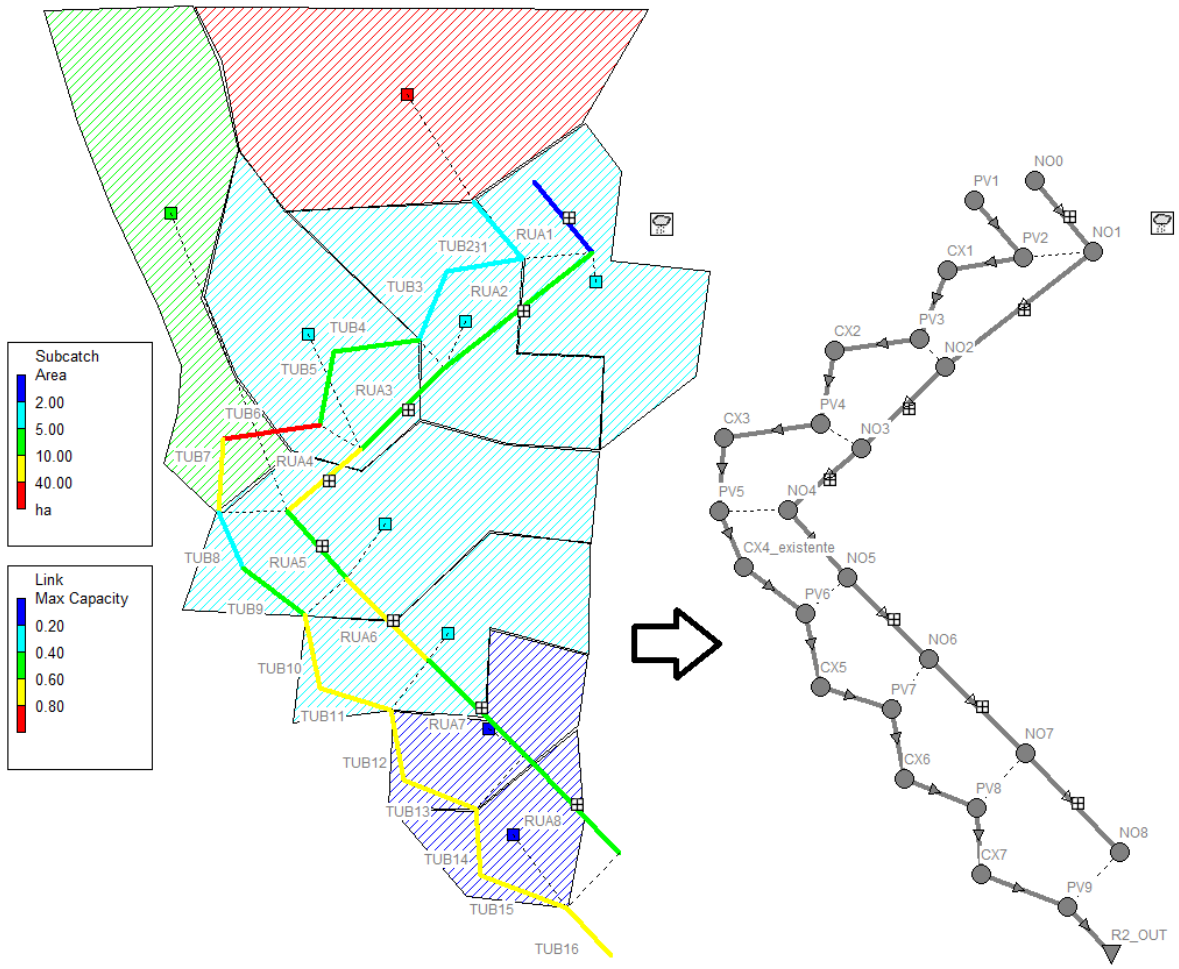
A análise de tendências de precipitação indica aumento significativo nas taxas pluviométricas regionais, sugerindo que eventos como o de 2024 não são pontuais, mas parte de um processo contínuo de intensificação das chuvas na bacia do Jacuí, visto que, estão ocorrendo com mais frequência. Esta constatação reforça a urgência de implementação de medidas estruturais e não-estruturais de controle de inundações e gestão de riscos no município.

# 5 PROJETO RUA COMANDANTE ALBERTO LUDWIG e MADRE JACINTA NAPOLITANO

## 5.1 Definição do Traçado e Modelagem SWMM

A Figura 5.1 apresenta o esquema geral da rede de drenagem pluvial projetada para a área de estudo do projeto 1 que abrange o trecho 01 até o trecho 15, conforme projeto de rede de drenagem, evidenciando a configuração dos condutos, poços de visita (PV), caixas (CX) e sub-bacias contribuintes (A). O sistema foi concebido seguindo a topografia natural do terreno, com escoamento gravitacional convergindo para o exutório R2_OUT. Os condutos subterrâneos, identificados como TUB1 ao TUB16, interligam os poços de visita (PV1 a PV9) e caixas (CX1 a CX7) que captam as contribuições das sub-bacias delimitadas pelas áreas hachuradas (A1 a A9). As ruas identificadas (RUA1 a RUA8) representam trechos de sarjetas que recebem as águas pluviais das vias públicas, enquanto os nós (NO0 a NO8) indicam pontos de captação ao longo da malha urbana. Cabe destacar que o traçado apenas representa o sistema de drenagem, sendo as posições meramente ilustrativas.

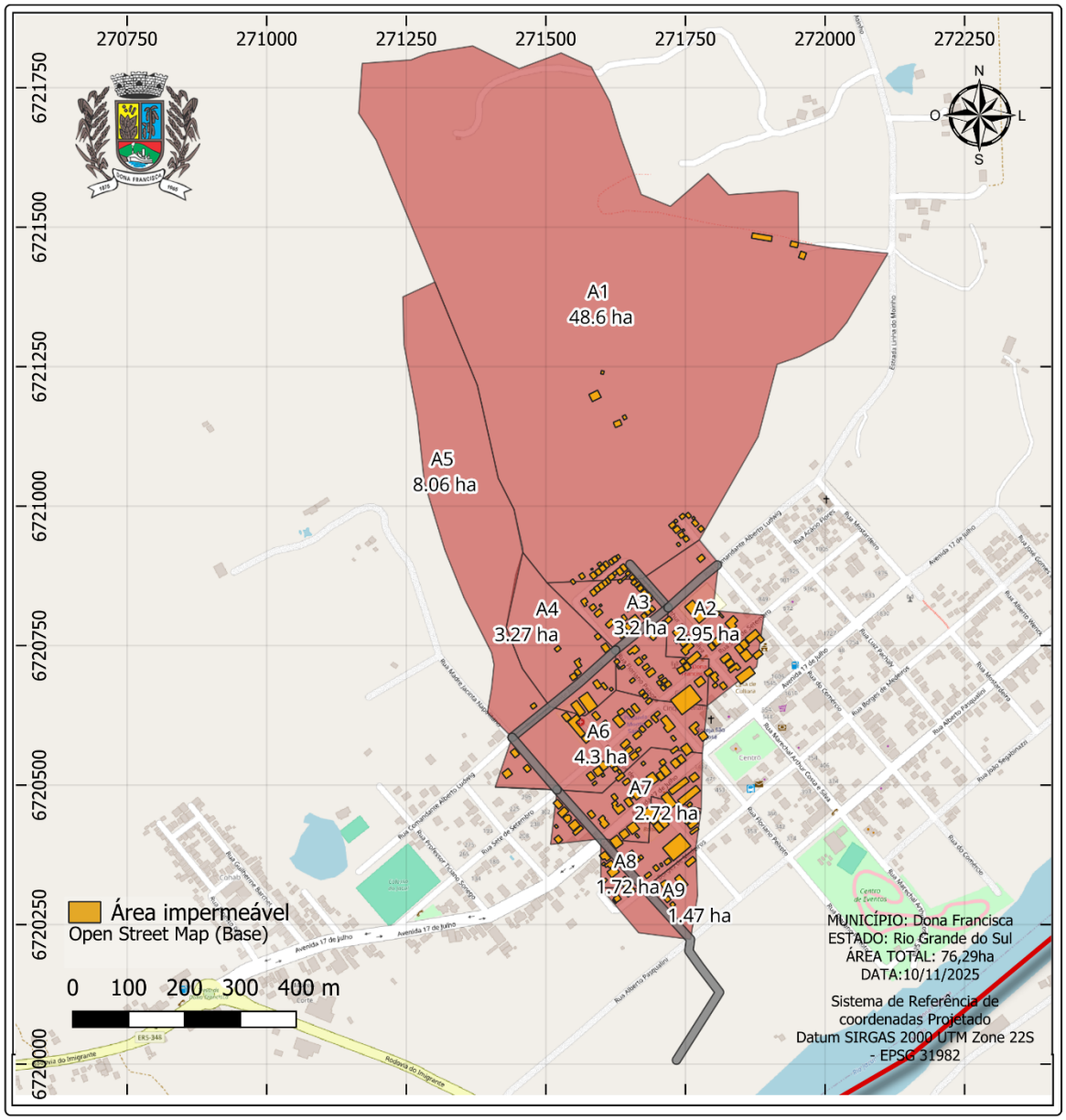
Figura 5.1: Modelo esquemático - Projeto 1




Fonte: Autor.

A Figura 5.2 ilustra a delimitação das áreas de contribuição hidrológica do Projeto 1, totalizando 75,29 hectares de área total. As sub-bacias foram identificadas e quantificadas individualmente (A1 a A9), com áreas variando entre 1,47 ha e 48,6 ha.

Figura 5.2: Áreas de contribuição - Projeto 1



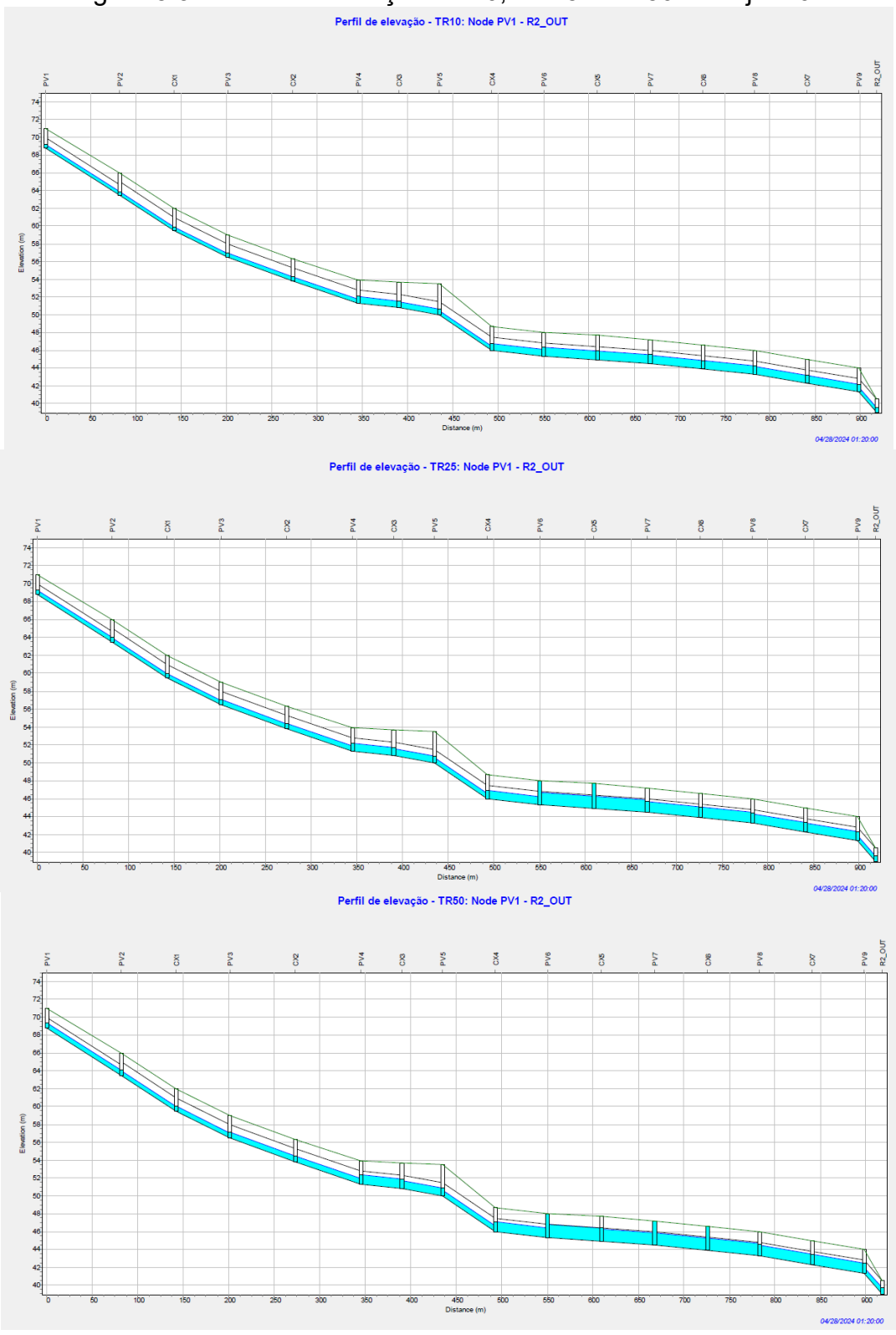

Fonte: Autor.

A Figura 5.3 apresenta o perfil de elevação para o Projeto 01, considerando os tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos (TR10, TR25 e TR50). As simulações foram realizadas com base na precipitação de projeto correspondente a cada tempo de retorno, conforme descrito anteriormente.

Observa-se que, para as simulações de TR25 e TR50, ocorrem pontos de extravasamento, enquanto para TR10 a tubulação permanece totalmente preenchida, sem ocorrência de transbordamento. Dessa forma, verifica-se que o dimensionamento do trecho é adequado para o tempo de retorno de 10 anos.

Neste caso específico, optou-se por manter o dimensionamento da tubulação correspondente ao TR10, uma vez que um tempo de retorno de 10 anos é comumente adotado no dimensionamento de sistemas de microdrenagem urbana, como sarjetas, bocas de lobo e galerias de pequeno porte. Além disso, considerando que foi utilizada uma precipitação representativa de um evento extremo e levando em conta os aspectos econômicos e o porte da cidade onde o sistema será implantado, a escolha pelo dimensionamento para TR10 mostra-se tecnicamente e economicamente adequada.

Figura 5.3: Perfis de elevação TR10, TR25 e TR50 – Projeto 01




Fonte: Autor.

O Projeto 01 é composto por quinze trechos de tubulação, sendo o primeiro com diâmetro de 1000 mm e os demais com diâmetro de 1500 mm. Cada trecho é interligado por poços de visita, localizados no início e no final de cada quadra, além de caixas de inspeção posicionadas no meio das quadras.

A figura 5.4 apresenta as seções dos poços de visita e caixas para o projeto 01. Ademais, todas as seções de tubulação, bem como as dimensões dos poços de visita e das caixas, estão detalhadas no projeto de drenagem, em conformidade com o dimensionamento hidráulico realizado para um tempo de retorno de 10 anos.

Figura 5.4: Seções dos poços de visita e caixa que ligam os quinze trechos de tubulação do projeto 01

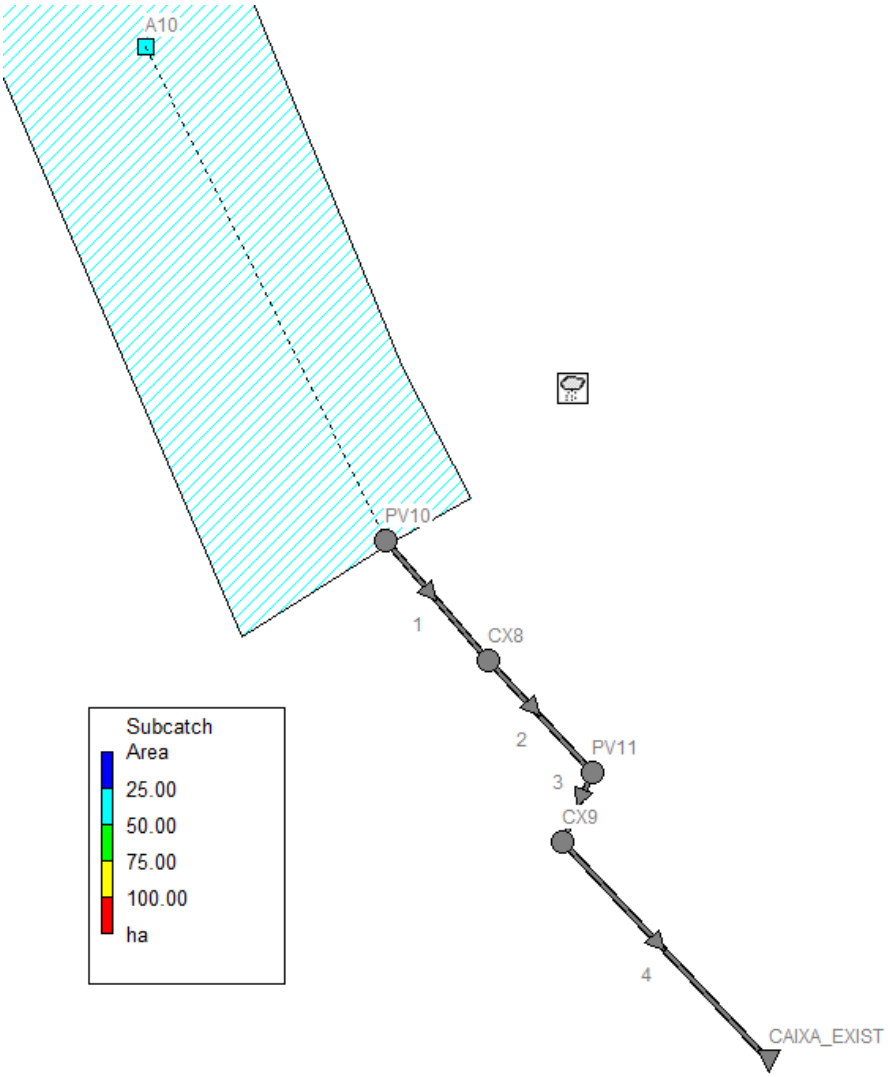
| SEÇÃO DAS CAIXAS E POÇOS DE VISITA - PROJETO 01 | | |
|---|---|---|
| Nome | Seção quadrada (cm) | Altura (cm) |
| PV1 | 150 x 200 | 230 |
| PV2 | 450 x 200 | 280 |
| PV3 | 150 x 200 | 280 |
| PV4 | 150 x 200 | 270 |
| PV5 | 200x 200 | 300 |
| PV6 | 150 x 200 | 270 |
| PV7 | 150 x 200 | 270 |
| PV8 | 150 x 200 | 270 |
| PV9 | 150 x 200 | 270 |
| CX1 | 150 x 200 | 200 |
| CX2 | 150 x 200 | 200 |
| CX3 | 150 x 200 | 200 |
| CX4 | 150 x 200 | 200 |
| CX5 | 150 x 200 | 200 |
| CX6 | 150 x 200 | 200 |
| CX7 | 150 x 200 | 200 |

| PROFUNDIDADE DAS CAIXAS E POÇOS DE VISITA - PROJETO 01 | |
|---|---|
| Nome | Profundidade (cm) |
| PV1 | 230 |
| PV2 | 280 |
| PV3 | 280 |
| PV4 | 270 |
| PV5 | 300 |
| PV6 | 270 |
| PV7 | 270 |
| PV8 | 270 |
| PV9 | 270 |
| CX1 | 280 |
| CX2 | 260 |
| CX3 | 260 |
| CX4 | 285 |
| CX5 | 260 |
| CX6 | 260 |
| CX7 | 260 |

Fonte: Autor.

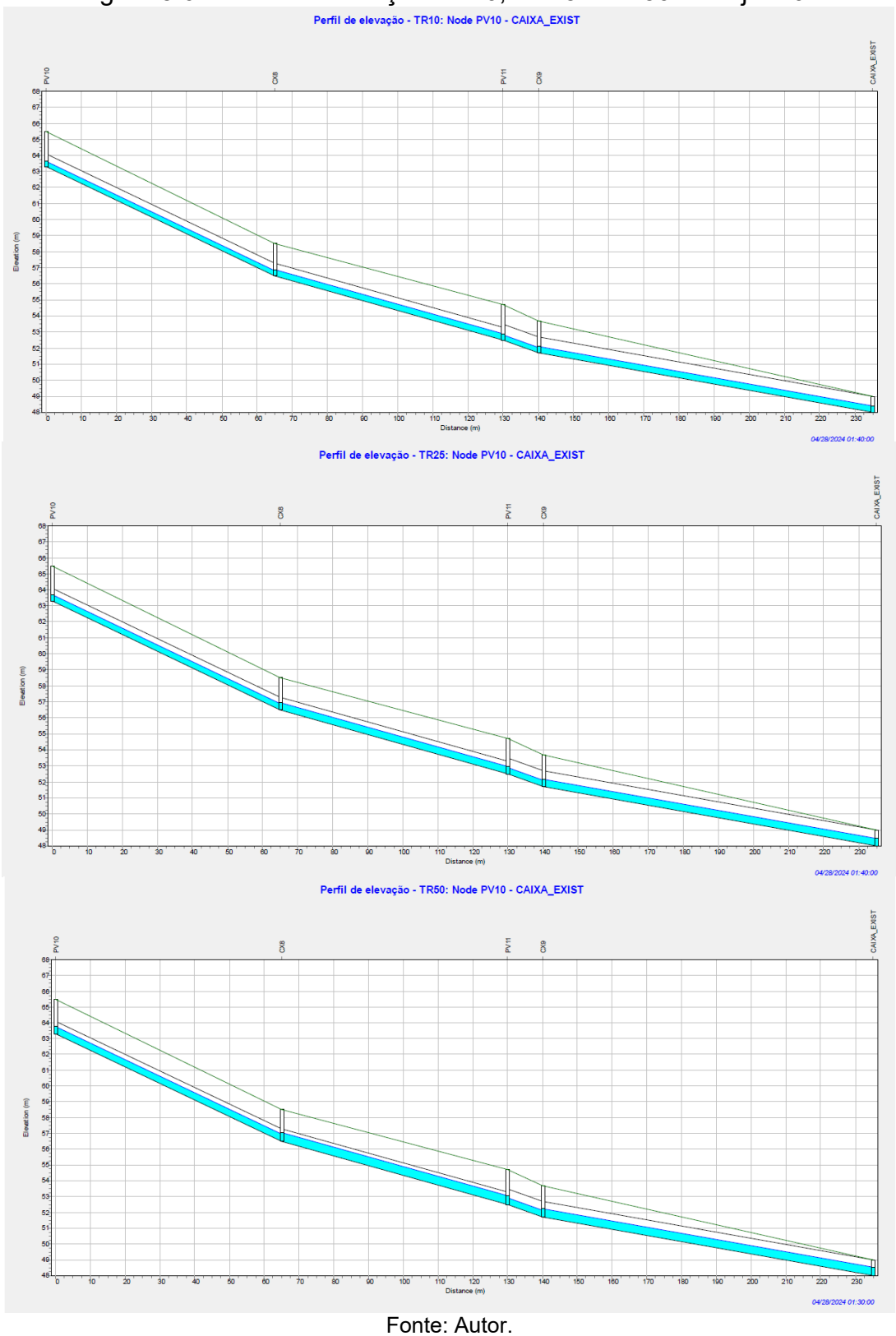
A Figura 5.5 apresenta o esquema do projeto 2 que abrange o trecho 16 até o trecho 19, conforme projeto de rede de drenagem, que tem por finalidade a captação das águas pluviais na rua Madre Jacinta Napolitano e o desague em uma caixa já existente a jusante na mesma rua. Foram nomeados os PV10 e PV11 e CX8 e CX9. Este trecho tem como destino final, uma caixa já existente na Rua Madre Jacinta Napolitano.

Figura 5.5: Modelo esquemático - Projeto 2




Fonte: Autor.

Figura 5.6: Perfis de elevação TR10, TR25 e TR50 – Projeto 02




Fonte: Autor.

A Figura 5.6 apresenta o perfil de elevação para o Projeto 02, considerando os tempos de retorno de 10, 25 e 50 anos (TR10, TR25 e TR50). As simulações foram realizadas com base na precipitação de projeto correspondente a cada tempo de retorno, conforme descrito anteriormente.

Verifica-se que, mesmo nas condições mais críticas de precipitação, a tubulação não fica totalmente preenchida, sem ocorrência de extravasamentos ao longo do trecho analisado. Dessa forma, observa-se que o dimensionamento adotado é adequado para todos os tempos de retorno simulados, garantindo o pleno funcionamento do sistema de drenagem projetado.

O Projeto 02 é composto por quatro trechos de tubulação com diâmetro de 1000 mm. Cada trecho é interligado por poços de visita, localizados no início e no final de cada quadra, além de caixas de inspeção posicionadas no meio das quadras.

A figura 5.7 descreve as seções dos poços de visita e caixas do projeto 02. Todas as seções de tubulação, bem como as dimensões dos poços de visita e das caixas, estão detalhadas no projeto de drenagem, em conformidade com o dimensionamento hidráulico realizado para os TR10, TR25 e TR50.

Figura 5.7: Seções dos poços de visita e caixa que ligam os quatro trechos de tubulação do projeto 02

| SEÇÃO DAS CAIXAS E POÇOS DE VISITA - PROJETO 02 | | |
|---|---|---|
| Nome | Seção quadrada (cm) | Altura (cm) |
| PV10 | 150 x 200 | 220 |
| PV11 | 150 x 200 | 220 |
| CX8 | 150 x 200 | 200 |
| CX9 | 150 x 200 | 200 |

| PROFUNDIDADE DAS CAIXAS E POÇOS DE VISITA - PROJETO 02 | |
|---|---|
| Nome | Profundidade (cm) |
| PV10 | 220 |
| PV11 | 220 |
| CX8 | 200 |
| CX9 | 200 |

Fonte: Autor.

## 5.2 Entradas do Projeto

Os arquivos de entrada na modelagem SWMM são de extensão .inp e serão disponibilizados em anexo a este relatório em dois arquivos diferentes denominados:

- Projeto_Dona_Francisca_PROJETO1.inp e
- Projeto_Dona_Francisca_PROJETO2.inp.

Cabe destacar que: a versão do software utilizada foi SWMM 5.2 (em inglês) desenvolvida pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), portanto, todas as entradas e relatórios estarão na língua inglesa.

### 5.2.1 Descrição do Arquivo de Entrada do SWMM

O arquivo de entrada (.inp) do modelo SWMM contém toda a estrutura de dados necessária para a simulação hidrológica e hidráulica do sistema de drenagem urbana. Este arquivo é organizado em seções identificadas por colchetes, cada uma representando um componente específico da modelagem. A seguir, apresenta-se uma descrição geral das principais seções e seus respectivos conteúdo.

### 5.2.2 Opções de Simulação

A seção [OPTIONS] define os parâmetros gerais da simulação, incluindo as unidades de vazão (CMS - metros cúbicos por segundo), o método de infiltração adotado (Curve Number), o tipo de propagação hidráulica (Kinematic Wave), e os períodos de simulação. Nesta seção também são especificados os passos de tempo para cálculo e geração de relatórios, além de parâmetros numéricos de convergência e estabilidade do modelo.

### 5.2.3 Pluviômetros e Precipitação

A seção [RAINGAGES] contém informações sobre os pluviômetros utilizados no modelo, definindo o formato dos dados de chuva, intervalos de tempo e a série

temporal associada. A seção [TIMESERIES] armazena as séries temporais de precipitação, tanto de eventos observados quanto de chuvas de projeto com diferentes tempos de retorno ( TR10, TR25 e TR50).

### 5.2.4 Sub-bacias de Contribuição

A seção [SUBCATCHMENTS] define as características de cada sub-bacia contribuinte, incluindo área de drenagem, porcentagem de impermeabilização, largura característica, declividade média e o elemento receptor do escoamento superficial. Complementarmente, a seção [SUBAREAS] especifica os parâmetros das superfícies permeáveis e impermeáveis, como coeficientes de rugosidade de Manning e armazenamento em depressões.

### 5.2.5 Infiltração

A seção [INFILTRATION] apresenta os parâmetros do método Curve Number para cada sub-bacia, incluindo o número CN (Curve Number), que representa a capacidade de infiltração do solo em função do tipo e uso do solo.

### 5.2.6 Nós do Sistema

A seção [JUNCTIONS] define os poços de visita (PVs) e nós auxiliares do sistema, especificando as cotas de fundo, profundidades máximas e condições iniciais. A seção [OUTFALLS] identifica os pontos de lançamento final do sistema, com suas respectivas cotas e condições de contorno.

### 5.2.7 Condutos e Seções Transversais

A seção [CONDUITS] descreve os trechos de tubulação e sarjetas do sistema, indicando os nós de montante e jusante, comprimentos, coeficientes de rugosidade de Manning e offsets verticais. A seção [XSECTIONS] define a geometria das seções

transversais de cada conduto, incluindo tipo de seção (circular, retangular, street), dimensões características e número de barris.

### 5.2.8 Dispositivos Complementares

A seção [STREETS] caracteriza as seções de rua utilizadas para modelar o escoamento superficial nas vias públicas, definindo parâmetros como altura da guia, declividade transversal e coeficientes de rugosidade. A seção [INLETS] descreve os dispositivos de captação (bocas de lobo), especificando tipo e dimensões. A seção [INLET_USAGE] associa as bocas de lobo aos condutos correspondentes, definindo quantidades, localização e grau de obstrução.

### 5.2.9 Opções de Relatório e Visualização

A seção [REPORT] controla quais elementos do modelo serão incluídos nos relatórios de saída da simulação. As seções [COORDINATES], [VERTICES] e [POLYGONS] armazenam as coordenadas espaciais dos elementos para visualização gráfica do modelo. A seção [PROFILES] define os perfis longitudinais para visualização dos resultados ao longo de trechos específicos do sistema.

Este conjunto de dados organizados permite ao SWMM simular de forma integrada os processos de geração de escoamento superficial nas sub-bacias, propagação hidráulica nos condutos e o funcionamento dos dispositivos de captação e condução do sistema de drenagem urbana.

## 5.3 Saídas

Foram executadas simulações hidrodinâmicas para três cenários críticos de precipitação correspondentes aos períodos de retorno de 10, 25 e 50 anos, utilizando o modelo computacional Storm Water Management Model (SWMM). O SWMM é uma ferramenta amplamente reconhecida para simulação hidrológica e hidráulica de sistemas de drenagem urbana, permitindo a avaliação integrada do escoamento superficial nas sub-bacias e da propagação de vazões na rede de condutos.

Os resultados numéricos obtidos, abrangendo vazões de pico, volumes escoados, profundidades nos nós, velocidades nos condutos e demais variáveis hidrológicas e hidráulicas, estão consolidados em arquivos com extensão .rpt (report) anexos a este relatório. Para o Projeto 01 será apresentado o relatório para o tempo de retorno TR10 utilizado para o dimensionamento do projeto. Para o Projeto 02, será apresentado o relatório para um tempo de retorno TR50, já que para todos os tempos o dimensionamento obteve um resultado positivo, desta forma, optou-se por apresentar o mais conservador. Os relatórios de análise identificados conforme segue:

**ANEXO 01 - Projeto 1:**

- RELATÓRIO PROJETO 01 PARA TR10.

**ANEXO 02 - Projeto 2:**

- RELATÓRIO PROJETO 02 PARA TR50.

Também serão apresentados os perfis longitudinais de cada trecho principal, evidenciando possíveis trechos críticos onde ocorrem condições próximas à capacidade plena dos condutos. O tempo de concentração utilizado foi de 10 minutos e com uma chuva de duração de 2 horas.

### 5.3.1 Informações Gerais e Opções de Análise

O cabeçalho do relatório identifica a versão do software EPA SWMM utilizada e apresenta as opções de análise configuradas para a simulação. Esta seção detalha as unidades de vazão adotadas (CMS), os modelos de processos ativados (precipitação/escoamento e propagação hidráulica), o método de infiltração (Curve Number), o método de propagação de vazões (Kinematic Wave) e os períodos de simulação. Também são informados os passos de tempo utilizados para os períodos secos, úmidos e de propagação hidráulica.

### 5.3.2 Análise de Continuidade

A análise de continuidade é apresentada em duas seções principais que verificam o balanço de massa no modelo. A Continuidade de Quantidade de Escoamento Superficial contabiliza volumes de precipitação total, perdas por evaporação e infiltração, escoamento superficial gerado e armazenamento final nas sub-bacias, apresentando o erro de continuidade percentual. Os volumes são expressos em litros e as lâminas em milímetros.

A Continuidade de Propagação de Vazões contabiliza as contribuições de tempo seco, tempo úmido, água subterrânea e RDII como entradas do sistema hidráulico, além das saídas pelos exutórios, perdas por alagamento e volumes armazenados inicial e final. Os volumes são apresentados em litros.

### 5.3.3 Resumo do Passo de Tempo de Propagação

Esta seção apresenta estatísticas sobre a estabilidade numérica da simulação, incluindo os passos de tempo mínimo, médio e máximo utilizados, a porcentagem de tempo em regime permanente, o número médio de iterações por passo e a porcentagem de passos sem convergência. Adicionalmente, são identificados os índices de instabilidade de vazão para os condutos mais críticos.

### 5.3.4 Resumo de Escoamento Superficial das Sub-bacias

O Resumo de Escoamento Superficial das Sub-bacias apresenta para cada área de contribuição os valores de precipitação total, escoamento adicional (runon), evaporação, infiltração, escoamento das áreas impermeáveis e permeáveis, escoamento total e vazão de pico. Também é calculado o coeficiente de escoamento (runoff coefficient) de cada sub-bacia. Os volumes são expressos em lâminas (mm) e volumes totais (milhões de litros), enquanto as vazões de pico são apresentadas em $m^3/s$.

### 5.3.5 Resumo de Profundidade nos Nós

O Resumo de Profundidade nos Nós consolida informações sobre os níveis d'água nos poços de visita, nós auxiliares e exutórios do sistema. São apresentados os valores de profundidade média, profundidade máxima, cota piezométrica máxima (HGL - Hydraulic Grade Line), horário de ocorrência da profundidade máxima e a profundidade máxima reportada. Este resumo permite identificar pontos críticos onde podem ocorrer afogamentos ou extravasamentos.

### 5.3.6 Resumo de Contribuições nos Nós

O Resumo de Contribuições nos Nós detalha as vazões de entrada em cada elemento do sistema. São apresentadas as contribuições laterais máximas (provenientes das sub-bacias), as vazões totais máximas (incluindo contribuições de montante), o horário de ocorrência das vazões máximas, os volumes de contribuição lateral e total, e o erro de balanço de vazões em cada nó. Os volumes são expressos em milhões de litros e as vazões em m³/s.

### 5.3.7 Resumo de Alagamentos nos Nós

O Resumo de Alagamentos nos Nós identifica os pontos do sistema onde ocorreu extravasamento de vazão acima da capacidade do dispositivo. São reportados o tempo total de alagamento em horas, a taxa máxima de alagamento (m³/s), o horário de ocorrência do pico de alagamento, o volume total extravasado (milhões de litros) e o volume de retenção superficial (1000 m³). Esta seção é fundamental para identificar pontos críticos que demandam intervenções de ampliação ou adequação.

### 5.3.8 Resumo de Cargas nos Exutórios

O Resumo de Cargas nos Exutórios apresenta o desempenho dos pontos de lançamento final do sistema. São informados a frequência de escoamento (percentual do tempo com vazão), as vazões média e máxima, e o volume total descarregado em cada exutório. Ao final, são consolidados os valores totais do sistema.

### 5.3.9 Resumo de Escoamento em Ruas

O Resumo de Escoamento em Ruas apresenta o comportamento hidráulico das sarjetas e dispositivos de captação superficial. São reportados os valores de vazão de pico, largura máxima de espalhamento superficial, profundidade máxima do escoamento, tipo e localização das bocas de lobo, eficiência de captura no pico e média, frequências de desvio (bypass) e refluxo (backflow), e as vazões capturadas e desviadas. Estas informações são essenciais para avaliar a eficiência dos dispositivos de drenagem superficial.

### 5.3.10 Resumo de Vazões nos Condutos

O Resumo de Vazões nos Condutos consolida o desempenho hidráulico das tubulações e sarjetas. Para cada trecho são apresentados a vazão máxima em valor absoluto, o horário de ocorrência da vazão máxima, a velocidade máxima, a relação vazão máxima/vazão de seção plena (Max/Full Flow) e a relação profundidade máxima/profundidade total (Max/Full Depth). Estes parâmetros permitem avaliar o grau de utilização da capacidade dos condutos e identificar trechos subdimensionados ou superdimensionados.

### 5.3.11 Resumo de Pressurização de Condutos

O Resumo de Pressurização de Condutos identifica os trechos que operaram em regime de seção plena durante a simulação. São reportados os tempos em que

ambas as extremidades do conduto estavam sob pressão, apenas a montante ou apenas a jusante, o tempo total acima do escoamento em superfície livre e o tempo em que a capacidade foi limitada. Esta análise é fundamental para verificar se há riscos de pressurização indesejada do sistema.

### 5.3.12 Informações de Duração da Análise

Ao final do relatório são apresentados os horários de início e término da simulação, bem como o tempo total de processamento computacional. Esta informação auxilia na verificação da complexidade do modelo e do esforço computacional demandado.

Este conjunto de resultados permite avaliar de forma abrangente o desempenho do sistema projetado frente aos eventos de projeto com diferentes tempos de retorno, identificando pontos críticos, verificando o dimensionamento dos componentes e validando a adequação das soluções propostas para os Projetos 1 e 2.

# 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente relatório consistiu em um estudo detalhado de toda a área a ser drenada pelos trechos compreendidos nos Projetos 01 e 02, referentes ao sistema de drenagem do município de Dona Francisca/RS. O estudo apresentou os dados meteorológicos da bacia, a estimativa das vazões de projeto e o dimensionamento do sistema, incluindo os perfis de elevação correspondentes a cada projeto.

Demais informações complementares poderão ser consultadas diretamente no projeto da rede de drenagem, que acompanha este relatório.

Dona Francisca/ RS, 10 de novembro de 2025.

_____

MUNICÍPIO DE DONA FRANCISCA/RS

SAUL ANTONIO DAL FORNO RECK

Prefeito Municipal

CNPJ/MF: 87.488.938.0001-80

Documento assinado digitalmente
gov.br
GABRIELA GRUTZMACHER MACHADO
Data: 11/11/2025 13:04:29-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

GABRIELA GRÜTZMACHER MACHADO

Engenheira Civil - CREA RS 215 695

Gama Engenharia e Construções LTDA

# ANEXO 01- Projeto 1:

- RELATÓRIO PROJETO 01 PARA TR10.

```
EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.2 (Build 5.2.4)
------------------------------------------------------------


***************
Analysis Options
***************
Flow Units ..... CMS
Process Models:
  Rainfall/Runoff ..... YES
  RDII ..... NO
  Snowmelt ..... NO
  Groundwater ..... NO
  Flow Routing ..... YES
  Ponding Allowed ..... NO
  Water Quality ..... NO
Infiltration Method ..... CURVE_NUMBER
Flow Routing Method ..... KINWAVE
Starting Date ..... 04/28/2024 00:00:00
Ending Date ..... 05/03/2024 12:00:00
Antecedent Dry Days ..... 0.0
Report Time Step ..... 00:10:00
Wet Time Step ..... 00:05:00
Dry Time Step ..... 01:00:00
Routing Time Step ..... 1.00 sec


*************************        Volume         Depth
Runoff Quantity Continuity     hectare-m            mm
*************************     ---------       -------
Total Precipitation ......         6.013        78.820
Evaporation Loss .........         0.000         0.000
Infiltration Loss ........         3.786        49.633
Surface Runoff ...........         2.214        29.014
Final Storage ............         0.020         0.259
Continuity Error (%) .....        -0.109


*************************        Volume         Volume
Flow Routing Continuity        hectare-m      10^6 ltr
*************************     ---------      ---------
Dry Weather Inflow .......         0.000         0.000
Wet Weather Inflow .......         2.214        22.135
Groundwater Inflow .......         0.000         0.000
RDII Inflow ..............         0.000         0.000
External Inflow ..........         0.000         0.000
External Outflow .........         2.211        22.110
Flooding Loss ............         0.000         0.000
Evaporation Loss .........         0.000         0.000
Exfiltration Loss ........         0.000         0.000
Initial Stored Volume ....         0.000         0.000
Final Stored Volume ......         0.000         0.000
Continuity Error (%) .....         0.114


*********************************
Highest Flow Instability Indexes
*********************************
All links are stable.


**************************
Routing Time Step Summary
**************************
Minimum Time Step           :     1.00 sec
Average Time Step           :     1.00 sec
Maximum Time Step           :     1.00 sec
% of Time in Steady State   :     0.00
Average Iterations per Step :     1.00
% of Steps Not Converging   :     0.00
```

**********
Subcatchment Runoff Summary
**********

| Subcatchment | Total Precip mm | Total Runon mm | Total Evap mm | Total Infil mm | Imperv Runoff mm | Perv Runoff mm | Total Runoff mm | Total Runoff 10^6 ltr | Peak Runoff CMS | Runoff Coeff |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A1 | 78.82 | 0.00 | 0.00 | 57.13 | 0.75 | 20.87 | 21.63 | 10.51 | 2.36 | 0.274 |
| A2 | 78.82 | 0.00 | 0.00 | 25.24 | 13.57 | 39.49 | 53.06 | 1.57 | 0.75 | 0.673 |
| A3 | 78.82 | 0.00 | 0.00 | 23.89 | 16.59 | 37.70 | 54.29 | 1.74 | 0.88 | 0.689 |
| A4 | 78.82 | 0.00 | 0.00 | 49.13 | 4.14 | 25.42 | 29.56 | 0.97 | 0.45 | 0.375 |
| A5 | 78.82 | 0.00 | 0.00 | 55.22 | 0.75 | 22.81 | 23.56 | 1.90 | 0.53 | 0.299 |
| A6 | 78.82 | 0.00 | 0.00 | 26.43 | 12.30 | 39.62 | 51.91 | 2.23 | 0.95 | 0.659 |
| A7 | 78.82 | 0.00 | 0.00 | 23.43 | 18.02 | 36.66 | 54.68 | 1.49 | 0.74 | 0.694 |
| A8 | 78.82 | 0.00 | 0.00 | 20.25 | 24.52 | 33.07 | 57.59 | 0.99 | 0.55 | 0.731 |
| A9 | 78.82 | 0.00 | 0.00 | 27.92 | 6.66 | 44.05 | 50.71 | 0.75 | 0.35 | 0.643 |

**********
Node Depth Summary
**********

| Node | Type | Average Depth Meters | Maximum Depth Meters | Maximum HGL Meters | Time of Max Occurrence days hr:min | Reported Max Depth Meters |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PV1 | JUNCTION | 0.01 | 0.43 | 69.23 | 0 01:30 | 0.43 |
| PV2 | JUNCTION | 0.01 | 0.43 | 63.93 | 0 01:30 | 0.43 |
| PV3 | JUNCTION | 0.01 | 0.49 | 56.99 | 0 01:20 | 0.49 |
| PV4 | JUNCTION | 0.02 | 0.78 | 52.08 | 0 01:20 | 0.75 |
| PV5 | JUNCTION | 0.02 | 0.68 | 50.68 | 0 01:21 | 0.65 |
| PV6 | JUNCTION | 0.02 | 1.11 | 46.41 | 0 01:21 | 1.03 |
| PV7 | JUNCTION | 0.02 | 1.10 | 45.60 | 0 01:22 | 1.00 |
| PV8 | JUNCTION | 0.02 | 1.06 | 44.36 | 0 01:22 | 0.94 |
| PV9 | JUNCTION | 0.02 | 0.95 | 42.25 | 0 01:22 | 0.86 |
| NO0 | JUNCTION | 0.00 | 0.00 | 71.00 | 0 00:00 | 0.00 |
| NO1 | JUNCTION | 0.00 | 0.09 | 66.09 | 0 01:20 | 0.09 |
| NO2 | JUNCTION | 0.00 | 0.11 | 59.11 | 0 01:20 | 0.11 |
| NO3 | JUNCTION | 0.00 | 0.13 | 54.13 | 0 01:20 | 0.13 |
| NO4 | JUNCTION | 0.00 | 0.13 | 53.13 | 0 01:21 | 0.13 |
| NO5 | JUNCTION | 0.00 | 0.17 | 48.17 | 0 01:20 | 0.17 |
| NO6 | JUNCTION | 0.00 | 0.17 | 47.67 | 0 01:21 | 0.17 |
| NO7 | JUNCTION | 0.00 | 0.13 | 46.13 | 0 01:20 | 0.13 |
| NO8 | JUNCTION | 0.00 | 0.12 | 44.12 | 0 01:20 | 0.12 |
| CX1 | JUNCTION | 0.01 | 0.42 | 59.92 | 0 01:30 | 0.42 |
| CX2 | JUNCTION | 0.01 | 0.50 | 54.30 | 0 01:20 | 0.50 |
| CX3 | JUNCTION | 0.02 | 0.78 | 51.58 | 0 01:21 | 0.75 |
| CX4_existente | JUNCTION | 0.02 | 0.82 | 46.82 | 0 01:21 | 0.78 |
| CX5 | JUNCTION | 0.02 | 1.10 | 46.00 | 0 01:21 | 1.01 |
| CX6 | JUNCTION | 0.02 | 1.06 | 44.96 | 0 01:22 | 0.96 |
| CX7 | JUNCTION | 0.02 | 0.96 | 43.26 | 0 01:22 | 0.87 |
| R2_OUT | OUTFALL | 0.01 | 0.59 | 39.59 | 0 01:22 | 0.55 |

**********
Node Inflow Summary
**********

| Node | Type | Maximum Lateral Inflow CMS | Maximum Total Inflow CMS | Time of Max Occurrence days hr:min | Lateral Inflow Volume 10^6 ltr | Total Inflow Volume 10^6 ltr | Flow Balance Error Percent | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PV1 | JUNCTION | 2.356 | 2.356 | 0 01:30 | 10.5 | 10.5 | 0.000 | |
| PV2 | JUNCTION | 0.000 | 2.355 | 0 01:30 | 0 | 10.5 | 0.000 | |
| PV3 | JUNCTION | 0.542 | 2.723 | 0 01:20 | 1.36 | 11.9 | 0.000 | |
| PV4 | JUNCTION | 0.711 | 3.423 | 0 01:20 | 1.57 | 13.5 | 0.000 | |
| PV5 | JUNCTION | 0.540 | 3.960 | 0 01:21 | 1.04 | 14.5 | 0.000 | |
| PV6 | JUNCTION | 0.545 | 4.503 | 0 01:21 | 1.77 | 16.3 | 0.000 | |
| PV7 | JUNCTION | 0.815 | 5.302 | 0 01:21 | 2.04 | 18.3 | 0.000 | |
| PV8 | JUNCTION | 0.684 | 5.942 | 0 01:22 | 1.59 | 19.9 | 0.000 | |
| PV9 | JUNCTION | 0.923 | 6.773 | 0 01:22 | 1.92 | 21.8 | 0.000 | |
| NO0 | JUNCTION | 0.000 | 0.000 | 0 00:00 | 0 | 0 | 0.000 | ltr |
| NO1 | JUNCTION | 0.751 | 0.751 | 0 01:20 | 1.57 | 1.57 | 0.000 | |
| NO2 | JUNCTION | 0.349 | 1.074 | 0 01:20 | 0.373 | 1.94 | 0.000 | |
| NO3 | JUNCTION | -0.274 | 0.798 | 0 01:20 | -0.608 | 1.33 | 0.000 | |
| NO4 | JUNCTION | 0.238 | 0.777 | 0 01:20 | 0.857 | 2.19 | -0.000 | |
| NO5 | JUNCTION | 0.432 | 1.151 | 0 01:20 | 0.465 | 2.65 | 0.000 | |
| NO6 | JUNCTION | -0.226 | 1.033 | 0 01:20 | -0.553 | 2.1 | -0.000 | |
| NO7 | JUNCTION | -0.232 | 0.879 | 0 01:20 | -0.602 | 1.49 | -0.000 | |
| NO8 | JUNCTION | -0.582 | 0.289 | 0 01:20 | -1.18 | 0.315 | 0.000 | |
| CX1 | JUNCTION | 0.000 | 2.355 | 0 01:30 | 0 | 10.5 | 0.000 | |
| CX2 | JUNCTION | 0.000 | 2.722 | 0 01:20 | 0 | 11.9 | 0.000 | |
| CX3 | JUNCTION | 0.000 | 3.422 | 0 01:21 | 0 | 13.5 | 0.000 | |
| CX4_existente | JUNCTION | 0.000 | 3.960 | 0 01:21 | 0 | 14.5 | 0.000 | |
| CX5 | JUNCTION | 0.000 | 4.500 | 0 01:21 | 0 | 16.3 | 0.000 | |
| CX6 | JUNCTION | 0.000 | 5.300 | 0 01:22 | 0 | 18.3 | 0.000 | |
| CX7 | JUNCTION | 0.000 | 5.941 | 0 01:22 | 0 | 19.9 | 0.000 | |
| R2_OUT | OUTFALL | 0.000 | 6.773 | 0 01:22 | 0 | 21.8 | 0.000 | |

**********
Outfall Loading Summary
**********

| Outfall Node | Flow Freq Pcnt | Avg Flow CMS | Max Flow CMS | Total Volume 10^6 ltr |
|---|---|---|---|---|
| R2_OUT | 99.47 | 0.046 | 6.773 | 21.795 |
| System | 99.47 | 0.046 | 6.773 | 21.795 |

**********
Street Flow Summary
**********

| Street Conduit | Peak Flow CMS | Maximum Spread m | Maximum Depth m | Inlet Design | Inlet Location | Inlet | Peak Flow Capture Pcnt | Avg. Flow Capture Pcnt | Bypass Flow Freq Pcnt | Back Flow Freq Pcnt | Peak Capture / Inlet CMS | Peak Bypass Flow CMS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RUA1 | 0.000 | 0.225 | 0.000 | BL_30x30 | ON-GRADE | 4 | | | | | | |
| RUA2 | 0.742 | 4.493 | 0.090 | BL_30x30 | ON-GRADE | 4 | 73.04 | 99.35 | 7.94 | 0.00 | 0.07 | 0.20 |
| RUA3 | 1.065 | 4.500 | 0.107 | BL_30x30 | ON-GRADE | 4 | 66.70 | 99.23 | 7.07 | 0.00 | 0.09 | 0.35 |
| RUA4 | 0.788 | 4.500 | 0.129 | BL_30x30 | ON-GRADE | 4 | 68.48 | 99.02 | 7.52 | 0.00 | 0.07 | 0.25 |
| RUA5 | 0.775 | 4.500 | 0.096 | BL_30x30 | ON-GRADE | 4 | 70.34 | 99.46 | 4.60 | 0.00 | 0.07 | 0.23 |
| RUA6 | 1.127 | 4.500 | 0.173 | BL_30x30 | ON-GRADE | 4 | 72.33 | 98.86 | 8.88 | 0.00 | 0.10 | 0.31 |
| RUA7 | 1.022 | 4.500 | 0.132 | BL_30x30 | ON-GRADE | 4 | 66.87 | 98.75 | 8.92 | 0.00 | 0.09 | 0.34 |
| RUA8 | 0.872 | 4.500 | 0.117 | BL_30x30 | ON-GRADE | 4 | 66.81 | 98.67 | 10.95 | 0.00 | 0.07 | 0.29 |

**********
Link Flow Summary
**********

| Link | Type | Maximum \|Flow\| CMS | Time of Max Occurrence days | hr:min | Maximum \|Veloc\| m/sec | Max/ Full Flow | Max/ Full Depth |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TUB1 | CONDUIT | 2.355 | 0 | 01:30 | 6.48 | 0.27 | 0.36 |
| TUB2 | CONDUIT | 2.355 | 0 | 01:30 | 6.43 | 0.15 | 0.26 |
| TUB3 | CONDUIT | 2.355 | 0 | 01:30 | 5.84 | 0.17 | 0.28 |
| TUB4 | CONDUIT | 2.722 | 0 | 01:20 | 5.45 | 0.23 | 0.33 |
| TUB5 | CONDUIT | 2.721 | 0 | 01:21 | 5.30 | 0.24 | 0.33 |
| TUB6 | CONDUIT | 3.422 | 0 | 01:21 | 3.71 | 0.53 | 0.52 |
| TUB7 | CONDUIT | 3.421 | 0 | 01:21 | 4.42 | 0.42 | 0.45 |
| TUB8 | CONDUIT | 3.960 | 0 | 01:21 | 7.54 | 0.25 | 0.34 |
| TUB9 | CONDUIT | 3.958 | 0 | 01:21 | 3.99 | 0.58 | 0.55 |
| TUB10 | CONDUIT | 4.500 | 0 | 01:21 | 3.23 | 0.89 | 0.74 |
| TUB11 | CONDUIT | 4.496 | 0 | 01:22 | 3.23 | 0.89 | 0.74 |
| TUB12 | CONDUIT | 5.300 | 0 | 01:22 | 3.96 | 0.85 | 0.71 |
| TUB13 | CONDUIT | 5.298 | 0 | 01:22 | 3.99 | 0.84 | 0.70 |
| TUB14 | CONDUIT | 5.941 | 0 | 01:22 | 4.98 | 0.74 | 0.64 |
| TUB15 | CONDUIT | 5.939 | 0 | 01:22 | 5.02 | 0.73 | 0.64 |
| TUB16 | CONDUIT | 6.773 | 0 | 01:22 | 10.53 | 0.32 | 0.39 |
| RUA1 | CONDUIT | 0.000 | 0 | 00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| RUA2 | CONDUIT | 0.742 | 0 | 01:20 | 1.85 | 0.10 | 0.40 |
| RUA3 | CONDUIT | 1.065 | 0 | 01:20 | 1.92 | 0.16 | 0.47 |
| RUA4 | CONDUIT | 0.788 | 0 | 01:21 | 1.05 | 0.27 | 0.57 |
| RUA5 | CONDUIT | 0.775 | 0 | 01:21 | 1.69 | 0.12 | 0.43 |
| RUA6 | CONDUIT | 1.127 | 0 | 01:21 | 0.97 | 0.55 | 0.77 |
| RUA7 | CONDUIT | 1.022 | 0 | 01:20 | 1.32 | 0.29 | 0.59 |
| RUA8 | CONDUIT | 0.872 | 0 | 01:20 | 1.35 | 0.21 | 0.52 |

# ANEXO 02 - Projeto 2:

- RELATÓRIO PROJETO 02 PARA TR50.

```
EPA STORM WATER MANAGEMENT MODEL - VERSION 5.2 (Build 5.2.4)
------------------------------------------------------------


***************
Analysis Options
***************
Flow Units ............... CMS
Process Models:
  Rainfall/Runoff ........ YES
  RDII ................... NO
  Snowmelt ............... NO
  Groundwater ............ NO
  Flow Routing ........... YES
  Ponding Allowed ........ NO
  Water Quality .......... NO
Infiltration Method ...... CURVE_NUMBER
Flow Routing Method ...... KINWAVE
Starting Date ............ 04/28/2024 00:00:00
Ending Date .............. 05/03/2024 12:00:00
Antecedent Dry Days ...... 0.0
Report Time Step ......... 00:10:00
Wet Time Step ............ 00:05:00
Dry Time Step ............ 01:00:00
Routing Time Step ........ 1.00 sec


*************************        Volume         Depth
Runoff Quantity Continuity     hectare-m            mm
*************************     ---------       -------
Total Precipitation ......         3.459       101.740
Evaporation Loss .........         0.000         0.000
Infiltration Loss ........         2.028        59.657
Surface Runoff ...........         1.428        41.986
Final Storage ............         0.005         0.151
Continuity Error (%) .....        -0.054


*************************        Volume        Volume
Flow Routing Continuity        hectare-m      10^6 ltr
*************************     ---------      ---------
Dry Weather Inflow .......         0.000         0.000
Wet Weather Inflow .......         1.428        14.275
Groundwater Inflow .......         0.000         0.000
RDII Inflow ..............         0.000         0.000
External Inflow ..........         0.000         0.000
External Outflow .........         1.428        14.275
Flooding Loss ............         0.000         0.000
Evaporation Loss .........         0.000         0.000
Exfiltration Loss ........         0.000         0.000
Initial Stored Volume ....         0.000         0.000
Final Stored Volume ......         0.000         0.000
Continuity Error (%) .....        -0.000


*********************************
Highest Flow Instability Indexes
*********************************
All links are stable.


*************************
Routing Time Step Summary
*************************
Minimum Time Step           :     1.00 sec
Average Time Step           :     1.00 sec
Maximum Time Step           :     1.00 sec
% of Time in Steady State   :     0.00
Average Iterations per Step :     1.00
% of Steps Not Converging   :     0.00


***************************
Subcatchment Runoff Summary
***************************

-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
                         Total      Total      Total      Total     Imperv      Perv      Total      Total      Peak  Runoff
                        Precip      Runon       Evap      Infil    Runoff    Runoff     Runoff     Runoff    Runoff   Coeff
Subcatchment                mm         mm         mm         mm        mm        mm         mm   10^6 ltr       CMS
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------
A10                     101.74       0.00       0.00      59.66      0.98     41.00      41.99      14.28      2.37   0.413
```

**********
Node Depth Summary
**********

| Node | Type | Average Depth Meters | Maximum Depth Meters | Maximum HGL Meters | Time of Max Occurrence days hr:min | Reported Max Depth Meters |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PV10 | JUNCTION | 0.02 | 0.46 | 63.76 | 0 01:40 | 0.46 |
| PV11 | JUNCTION | 0.02 | 0.56 | 53.06 | 0 01:40 | 0.56 |
| CX8 | JUNCTION | 0.02 | 0.56 | 57.06 | 0 01:40 | 0.56 |
| CX9 | JUNCTION | 0.02 | 0.55 | 52.25 | 0 01:40 | 0.55 |
| CAIXA_EXIST | OUTFALL | 0.02 | 0.55 | 48.55 | 0 01:40 | 0.55 |

**********
Node Inflow Summary
**********

| Node | Type | Maximum Lateral Inflow CMS | Maximum Total Inflow CMS | Time of Max Occurrence days hr:min | Lateral Inflow Volume 10^6 ltr | Total Inflow Volume 10^6 ltr | Flow Balance Error Percent |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PV10 | JUNCTION | 2.370 | 2.370 | 0 01:40 | 14.3 | 14.3 | 0.000 |
| PV11 | JUNCTION | 0.000 | 2.370 | 0 01:40 | 0 | 14.3 | 0.000 |
| CX8 | JUNCTION | 0.000 | 2.370 | 0 01:40 | 0 | 14.3 | 0.000 |
| CX9 | JUNCTION | 0.000 | 2.370 | 0 01:40 | 0 | 14.3 | 0.000 |
| CAIXA_EXIST | OUTFALL | 0.000 | 2.369 | 0 01:40 | 0 | 14.3 | 0.000 |

**********
Node Flooding Summary
**********

No nodes were flooded.

**********
Outfall Loading Summary
**********

| Outfall Node | Flow Freq Pcnt | Avg Flow CMS | Max Flow CMS | Total Volume 10^6 ltr |
|---|---|---|---|---|
| CAIXA_EXIST | 99.82 | 0.030 | 2.369 | 14.275 |
| System | 99.82 | 0.030 | 2.369 | 14.275 |

**********
Link Flow Summary
**********

| Link | Type | Maximum \|Flow\| CMS | Time of Max Occurrence days hr:min | Maximum \|Veloc\| m/sec | Max/ Full Flow | Max/ Full Depth |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | CONDUIT | 2.370 | 0 01:40 | 7.83 | 0.64 | 0.58 |
| 2 | CONDUIT | 2.370 | 0 01:40 | 6.33 | 0.83 | 0.70 |
| 3 | CONDUIT | 2.370 | 0 01:40 | 7.09 | 0.40 | 0.44 |
| 4 | CONDUIT | 2.369 | 0 01:40 | 5.41 | 0.58 | 0.55 |

**********
Conduit Surcharge Summary
**********

No conduits were surcharged.

Analysis begun on: Mon Nov 10 09:58:33 2025