



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

JOSÉ WELLINGTON OLIVEIRA ARAÚJO

**MODELAGEM DA INFLUÊNCIA DA INFILTRAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM
UM TRECHO DO INTERCEPTOR LESTE DE ESGOTO DA ZONA COSTEIRA DE
FORTALEZA, CEARÁ**

CRATEÚS

2023

JOSÉ WELLINGTON OLIVEIRA ARAÚJO

**MODELAGEM DA INFLUÊNCIA DA INFILTRAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM
UM TRECHO DO INTERCEPTOR LESTE DE ESGOTO DA ZONA COSTEIRA DE
FORTALEZA, CEARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de bacharel em
Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof. Dr^a. Janine Brandão de
Farias Mesquita.

CRATEÚS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A689m Araújo, José Wellington Oliveira.
Modelagem da Influência da Infiltração de Águas Pluviais em um Trecho do
Interceptor Leste de Esgoto da Zona Costeira de Fortaleza, Ceará / José
Wellington Oliveira Araújo. – 2023.
57 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará,
Campus de Crateús, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Crateús, 2023.
Orientação: Profa. Dra. Janine Brandão de Farias Mesquita.

1. Modelagem Hidráulica. 2. RTK. 3. RDII. 4. PCSWMM. I. Título.

CDD 628

JOSÉ WELLINGTON OLIVEIRA ARAÚJO

**MODELAGEM DA INFLUÊNCIA DA INFILTRAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM
UM TRECHO DO INTERCEPTOR LESTE DE ESGOTO DA ZONA COSTEIRA DE
FORTALEZA, CEARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Ambiental e Sanitária.

Aprovada em: _____/_____/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Janine Brandão de Farias Mesquita (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto
Universidade Federal do Ceará
(DEHA/UFC)

Dr. Silvano Porto Pereira
Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE)

A Deus.
Aos meus pais, Antonia Cicera e José Pereira.
As minhas irmãs, Erika e Laine.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e pelas benções.

Aos meus pais e minhas irmãs, por me auxiliarem e acompanharem de perto toda a minha trajetória.

A minha orientadora, Professora Janine Brandão, por todo conhecimento passada em sala de aula e pela paciência e dedicação durante a orientação deste trabalho.

Aos amigos que fiz durante a graduação e que certamente levarei para toda a vida, em especial, Nazaré, Paulo e Marcos.

Aos meus familiares, professores e amigos, que de alguma forma contribuíram para minha evolução enquanto estudante e ser humano.

A *Computational Hydraulics International (CHI)* por fornecer a licença estudantil do *software* PCSWMM.

Ao meu colega de curso Alan, que também utilizou o *software* PCSWMM e aplicou a metodologia dos parâmetros RTK em seu TCC, por ter tido a gentileza de dedicar um pouco do seu tempo para explicar como realizou as simulações no *software* PCSWMM.

A Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE) pelo fornecimento de dados para a realização desta pesquisa.

A Universidade Federal do Ceará (UFC), pela oportunidade de realizar um curso em um Campus do interior do estado do Ceará.

*“Deus converte o deserto em
lago e a terra seca em fontes.”*

Salmos 107:35

RESUMO

A infiltração de água da chuva na rede de esgoto é um problema que pode trazer diversas consequências. Em períodos de chuva intensa, a capacidade da rede de esgoto pode ser excedida, provocando alagamentos e enchentes nas ruas. Além disso, a contaminação da água dos corpos d'água pelos resíduos presentes no esgoto pode comprometer a vida aquática e gerar problemas ambientais. Uma das formas de contribuir com meios para proposição ou testes de ações que possam evitar ou reduzir esse problema envolve o uso de modelagem computacional. Neste contexto, o presente trabalho visou identificar, através da modelagem hidráulica os pontos críticos passíveis de falhas e extravasão de um trecho do Interceptor Leste (IL) da rede esgotamento sanitário de Fortaleza, Ceará. As simulações computacionais foram realizadas através do software PCSWMM. Para estimar o RDII (volume de água pluvial que se infiltra na rede de esgoto) aplicou-se a metodologia dos parâmetros RTK. Sendo que foi avaliado o impacto da contribuição de águas pluviais das sub-bacias do riacho Maceió e de outras duas sub-bacias (S95 e S102) da Vertente Marítima, uma situada na entrada e outra no final da linha de recalque da Estação Elevatória da Praia do Futuro II. Foram realizadas simulações para o tempo seco e com eventos chuvosos com precipitação máxima, através de uma curva IDF (intensidade-duração-frequência), considerando diferentes períodos de retorno (2, 5 e 10 anos) e valores do parâmetro R de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%. Após a realização das simulações dos diferentes cenários não foi constatada nenhuma extravasão nos poços de visita do trecho do IL analisado. No entanto, foram identificados pontos críticos, onde alguns trechos da tubulação estão funcionando como conduto forçado. Embora não tenha havido extravasão nos poços de visita do trecho analisado, é importante levar em consideração os pontos críticos, uma vez que podem acarretar problemas operacionais ou falhas estruturais.

Palavras-chave: Modelagem hidráulica. RTK. RDII. PCSWMM.

ABSTRACT

The infiltration of rainwater into the sewage system is a problem that can have several consequences. In periods of heavy rain, the capacity of the sewage network can be exceeded, causing flooding and flooding in the streets. In addition, contamination of water bodies by waste present in sewage can compromise aquatic life and generate environmental problems. One of the ways to contribute with means to propose or test actions that can avoid or reduce this problem involves the use of computational modeling. In this context, the present work aimed to identify, through hydraulic modeling, the critical points liable to rupture and overflow of a section of the Eastern Interceptor (IL) of the sewage network in Fortaleza, Ceará. Computer simulations were performed using the PCSWMM software. To estimate the RDII (volume of rainwater that infiltrates the sewage network) the methodology of RTK parameters was applied. The impact of the contribution of rainwater from the sub-basins of Riacho Maceió and two other sub-basins (S95 and S102) of Vertente Marítima, one located at the entrance and the other at the end of the discharge line of Praia do Futuro II Sewage Pumping Station was evaluated. Simulations were carried out for dry weather and with rainy events with maximum precipitation, using an IDF curve (intensity-duration-frequency), considering different return periods (2, 5 and 10 years) and values of the R parameters of 1%, 3%, 5%, 7% and 10%. After carrying out the simulations of the different scenarios, no overflow was found in the culverts of the analyzed IL stretch. However, critical points were identified, some sections of the sewer pipe are functioning as penstocks. Although there was no overflow in the culverts in the section analyzed, it is important to take into account the critical points, as they can lead to operational problems or structural failures.

Keywords: Hydraulic modeling. RTK. RDII. PCSWMM.'

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização de Fortaleza/CE.	25
Figura 2 – Mapa de localização do trecho do IL analisado.	26
Figura 3 – Mapa de localização da Linha de recalque da EEE – Praia do Futuro II e das sub-bacias S102 e S95.....	27
Figura 4 – Mapa de localização do coletor tronco e da Linha de recalque da EEE Parque Ecológico e das sub-bacias do Riacho Maceió.	28
Figura 5 – Mapa de situação da área de estudo.	29
Figura 6 – Curvas IDF geradas no PCSWMM.....	31
Figura 7 – Interface do PCSWMM: Inserção dos parâmetros R, T e K.....	32
Figura 8 – Cenário 1: Simulação hidráulica da rede de esgoto sem contribuição de água pluvial.....	34
Figura 9 – Cenário 2: Simulação hidráulica da rede de esgoto com contribuição de água pluvial das bacias S95 e S102.	35
Figura 10 – Cenário 3: Simulação hidráulica da rede de esgoto com contribuição de água pluvial das sub-bacias do Riacho Maceió.	36
Figura 11 – Cenário 4: Simulação hidráulica da rede de esgoto com contribuição de água pluvial das sub-bacias S92, S102 e sub-bacias do riacho Maceió.....	37
Figura 12 – Perfil hidráulico da simulação do Cenário 3 com o maior número de pontos críticos – PR de 10 anos com parâmetro R de 10%.	38
Figura 13 – Perfil hidráulico da simulação do Cenário 4 com o maior número de pontos críticos – PR de 10 anos com parâmetro R de 10%.	39
Figura 14 – C1: Simulação em tempo seco.	40
Figura 15 – Cenário 2: Simulações com PR de 2 anos e parâmetro R de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.....	41
Figura 16 – Cenário 2: Simulações com PR de 5 anos e parâmetro R de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.....	41
Figura 17 – Cenário 2: Simulações com PR de 10 anos e parâmetro R de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.....	42
Figura 18 – Cenário 3: PR de 2 anos e infiltrações de 1%, 3%. 5%. 7% e 10%	43
Figura 19 – Cenário 3: PR de 5 anos e infiltrações de 1%, 3%. 5%. 7% e 10%.	44
Figura 20 – Cenário 3: PR de 10 anos e infiltrações de 1%, 3%. 5%. 7% e 10%.	45

Figura 22 – Cenário 4: PR de 2 anos e infiltrações de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.	47
Figura 23 – Cenário 4: PR de 5 anos e infiltrações de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.	48
Figura 24 – Cenário 4: PR de 10 anos e infiltrações de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.2	JUSTIFICATIVA	14
1.3	OBJETIVOS	16
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo geral</i>	<i>16</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos específicos</i>	<i>16</i>
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	Precipitação máxima e hidrograma unitário	17
2.2	Drenagem de águas pluviais	17
2.3	Esgotamento sanitário	18
2.4	Modelagem Hidráulica/Hidrológica	22
3	METODOLOGIA.....	25
3.1	Área de estudo.....	25
3.2	Levantamento de dados.....	29
3.3	Simulação no PCSWMM	30
3.4	Curva IDF.....	30
3.5	Estimativa do RDII através dos parâmetros RTK	31
3.6	Simulação no PCSWMM dos diferentes cenários	33
4	RESULTADOS	38
4.1	Cenário 1.....	40
4.2	Cenário 2.....	40
4.3	Cenário 3.....	42
4.4	Cenário 4.....	46
5	CONCLUSÃO.....	51
	REFERÊNCIAS.....	53
	ANEXO A – TERMO DE AUTORIZAÇÃO	57

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O Brasil, assim como boa parte do mundo, sofre com problemas relacionados à saúde, ao saneamento e ao meio ambiente. As populações que se concentram nas periferias e nas áreas rurais, geralmente, são as mais prejudicadas com a falta de acesso a esses serviços básicos. A inexistência ou ineficácia dos serviços de saneamento afeta negativamente não só a saúde, mas também a qualidade de vida da população. Outro ponto a ser destacado, é o baixo investimento neste setor, que tem como consequência gastos elevados para combater as doenças disseminadas devido as condições sanitárias inadequadas (FLORES SILVA DOS SANTOS, DALTRO FILHO, *et al.*, 2018).

O progresso de um país é diretamente afetado pela extensão e a qualidade da infraestrutura dos serviços de água e esgoto (PERRONE PINHEIRO, FERREIRA SAVOIA e FELISONI DE ANGELO, 2016). De acordo com a PNSB realizado pelo IBGE em 2017, existe uma discrepância entre a proporção de municípios com serviço de abastecimento de água e a de municípios com serviço de esgotamento sanitário. Ao passo que, se por um lado, foram verificadas melhorias graduais tanto na abrangência quanto na qualidade do serviço de distribuição de água, por outro, a avaliação do serviço de esgoto sanitário mostrou a mesma tendência das PNSBs anteriores de tímido crescimento na cobertura. Em 2017 a coleta de esgoto sanitário por rede coletora em funcionamento era de 57,6%, já a distribuição de água por rede geral chegou a 99,6% dos Municípios. Tais dados deixam claro o grande desafio que o Brasil enfrenta na universalização de serviços de esgotamento sanitário adequados (IBGE, 2021).

Diante desse desafio, é fundamental que políticas de saneamento básico tenham prioridade e que sejam realizados investimentos adequados em infraestrutura, coleta e tratamento de esgoto. Um passo importante nessa direção foi a implantação do Marco Legal do Saneamento Básico, que estabeleceu a meta nacional de garantir o acesso de 90% da população brasileira à coleta e tratamento de esgoto até 2033.

O Brasil adota principalmente dois tipos de redes de esgoto: o sistema unitário e o sistema separador absoluto, mas o sistema separador absoluto é o que predomina no país. Em sua grande maioria, as redes de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto são projetadas para suportar uma pequena parcela de águas pluviais provenientes do uso da água nas áreas edificadas, acrescidas de águas de infiltração e eventualmente, de efluentes líquidos industriais.

No entanto, somadas a estas existem as contribuições advindas do encaminhamento acidental ou contribuições pluviais parasitárias, sendo este fato o mais preocupante, tendo em vista que afeta o funcionamento da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), e ainda altera as características das águas residuárias não só de forma qualitativa, mas também quantitativa (REBOUÇAS DOS SANTOS, 2013).

Quando as águas pluviais parasitárias entram na rede coletora de esgoto, em dias de chuva ocorre um aumento significativo na vazão de esgoto que é encaminhada à ETE. Como o sistema de tratamento é dimensionado para receber uma faixa de vazão específica, quando ocorre esse incremento proveniente das águas pluviais, a ETE tem sua eficiência prejudicada (ALVES NUNES, 2018).

A infiltração pluvial parasitária pode causar também a extravasão nos poços de visita da rede de esgoto, resultando em problemas operacionais e ambientais. Essa questão representa um desafio significativo para os sistemas de esgoto, uma vez que o extravasamento acarreta sérios problemas como poluição ambiental, odores desagradáveis e ameaças à saúde pública. Torna-se primordial a adoção de medidas preventivas e uma manutenção adequada, visando reduzir a ocorrência de infiltração pluvial parasitária e assegurando o eficiente funcionamento do sistema de esgoto.

1.2 Justificativa

Quando há lançamentos ilegais de águas pluviais nas redes coletoras de esgoto, ocorre o transporte de diversos tipos de resíduos e fragmentos para o interior das tubulações, especialmente areia. Esses materiais podem se acumular no fundo das tubulações, reduzindo gradualmente a área da seção transversal e prejudicando o fluxo de efluentes. Esse acúmulo de resíduos pode levar ao entupimento das tubulações, causando extravasamento nos Poços de Visita e gerando transtornos para a cidade. Além disso, a presença de odores desagradáveis e a proliferação de pragas e vetores de doenças são consequências comuns da extravasão nos poços de visita da rede de esgoto.

A análise de arquivos técnicos, relatórios de engenharia, memoriais de projeto e até mesmo, de toda a literatura técnica conhecida, revela que a questão das contribuições pluviais parasitárias ainda não foi suficientemente analisada. Portanto, deve ser reconhecida a importância do assunto e a utilidade de seu conhecimento até mesmo para uma avaliação da qualidade de serviço (AZEVEDO NETTO, 1979).

De acordo com Tomotuki Tsutya e Além Sobrinho (2011) devem ser estudados formas de reduzir ou eliminar a contribuição pluvial parasitária. Diante do exposto, é notória a necessidade de avaliar a magnitude da influência das águas pluviais no sistema de esgotamento sanitário e coletar informações que deem visibilidade ao tema e à necessidade de ações mais efetivas em termos de fiscalização (ALVES NUNES, 2018).

A má utilização das redes coletoras de esgoto pode acarretar prejuízos não só à população, mas também às empresas de saneamento. Em termos econômicos, é muito mais viável operar obedecendo um programa sistemático com atividades e cronogramas planejados do que realizar a manutenção e operação inadequada do sistema (DE BARROS BÁGGIO, 2014). Para minimizar esses problemas é extremamente importante que seja estudada as condições da rede coletora de esgoto, visando identificar tanto as falhas presentes quanto o surgimento de novas falhas.

Um dos meios utilizadas para estudar uma rede de esgotamento sanitário é através da modelagem hidráulica, que consiste em um instrumento que possibilita simular as diversas condições operacionais através de dados de entrada, como, por exemplo, as características da rede, informações da operação e dados de vazões (DUARTE ARASHIRO, 2017). A modelagem hidráulica proporciona uma otimização do processo de análise da rede de esgotamento sanitária, sendo possível analisar tanto uma rede a ser implantando quanto uma já existente.

O presente trabalho visou identificar, através da modelagem hidráulica e hidrológica, os pontos de entrada (pontos críticos) passíveis de falhas e extravasão em um trecho do interceptor Leste, no município de Fortaleza, Ceará, para que seja possível propor melhorias no sistema de esgotamento sanitário da área de estudo.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Analisar a influência da infiltração de águas pluviais em um trecho do Interceptor Leste da rede esgotamento sanitário de Fortaleza, Ceará.

1.3.2 Objetivos específicos

- ✓ Levantar dados da área escolhida;
- ✓ Aplicar o método RTK para estimar a entrada de água pluvial na rede de esgoto;
- ✓ Realizar simulações para avaliar a variação do comportamento hidráulico da rede em condições de tempo seco e chuvoso;
- ✓ Identificar pontos críticos de extravasamento no trecho de estudo do interceptor.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Precipitação máxima e hidrograma unitário

A precipitação máxima e o hidrograma unitário são conceitos importantes na área de hidrologia e estão relacionados ao estudo do comportamento das bacias hidrográficas em resposta às chuvas.

A precipitação máxima é um dos parâmetros fundamentais na análise hidrológica, sendo definida como a maior quantidade de chuva que ocorre em determinado período de tempo. É importante determinar a precipitação máxima para dimensionar estruturas hidráulicas e prever possíveis eventos extremos (S. BALLARIN, C. WENDLAND e A. A. ANACHE, 2019).

O hidrograma unitário é uma representação gráfica do escoamento resultante de uma unidade de precipitação em um determinado tempo, descreve a resposta de uma bacia hidrográfica à chuva, mostrando como o escoamento varia ao longo do tempo em relação à precipitação. O hidrograma unitário é usado para estimar o escoamento de uma bacia hidrográfica com base na precipitação observada ou esperada (G.O., A.I., *et al.*, 2020).

2.2 Drenagem de águas pluviais

A drenagem de águas pluviais é um processo essencial para lidar com o excesso de água da chuva e garantir a segurança das áreas urbanas. Quando há uma quantidade significativa de chuva, é necessário drenar o excesso de água para evitar inundações e danos às estruturas (SYED AZIZUL HAQ, 2017).

Existem várias formas de drenar as águas pluviais, sendo que o sistema de drenagem por gravidade é amplamente utilizado. Esse sistema envolve o uso de estruturas de captação e direcionamento da água pluvial para longe das áreas urbanas. A concepção do sistema de drenagem é um aspecto importante, considerando fatores como a intensidade da precipitação, o coeficiente de escoamento, o coeficiente de rugosidade e o tipo de sistema a ser adotado (SYED AZIZUL HAQ, 2017).

A gestão adequada das águas pluviais é essencial para enfrentar os desafios ambientais modernos nas áreas urbanas. O uso efetivo da água da chuva para fins não potáveis, como descargas de banheiro, lavanderia, jardinagem ou lavagem, pode reduzir significativamente a demanda por água potável. (ZELEĚÁKOVÁ, MARKOVIĭ, *et al.*, 2014).

É importante ressaltar que a drenagem de águas pluviais também requer considerações relacionadas à saúde e à qualidade da água. A coleta e armazenamento de águas pluviais devem ser realizados adequadamente para evitar a contaminação e garantir que a água seja segura para uso. Recomenda-se a implementação de medidas de tratamento adequadas, como a filtragem e desinfecção da água coletada, para garantir a sua qualidade antes de ser utilizada para fins potáveis ou não potáveis.

2.2.1 Consequências da urbanização na drenagem de águas pluviais

As consequências da urbanização na drenagem das águas pluviais são significativas e podem ter impactos negativos no meio ambiente e na qualidade da água. A urbanização provoca o aumento da descarga de poluentes no escoamento das águas pluviais. O desenvolvimento urbano introduz novas fontes de poluentes nas águas pluviais e cria superfícies impermeáveis que acumulam poluentes entre as chuvas (EPA, 2004).

Em áreas não urbanizadas, processos naturais como infiltração, interceptação, armazenamento em depressões, filtragem por vegetação e evaporação podem reduzir a quantidade de escoamento das águas pluviais e remover poluentes. No entanto, as áreas impermeáveis diminuem as funções naturais de purificação das águas pluviais nas bacias hidrográficas e aumentam o potencial de impactos na qualidade da água em corpos de água receptores (EPA, 2004).

Essas consequências da urbanização na drenagem das águas pluviais ressaltam a importância de práticas adequadas de gestão das águas pluviais em áreas urbanas, como a implementação de infraestrutura verde, sistemas de retenção de água e tratamento de poluentes. Essas medidas podem ajudar a minimizar os impactos negativos da urbanização na qualidade da água e no meio ambiente, promovendo a preservação dos recursos hídricos e a sustentabilidade urbana (EPA, 2004).

2.3 Esgotamento sanitário

O esgoto sanitário pode ser definido como sendo o despejo líquido formado pelos seguintes efluentes: esgoto doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária (ABNT, 1986). A NBR 9648 apresenta ainda as seguintes definições:

✓ Esgoto doméstico é o “despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas”;

✓ Esgoto industrial é o “despejo líquido resultante de processos industriais, respeitados os padrões de lançamento estabelecidos”;

✓ Água de infiltração é “toda água proveniente do subsolo indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações”;

✓ Contribuição pluvial parasitária é “a parcela de deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede de esgoto sanitário”.

Os sistemas de esgotos urbanos podem ser de três tipos (TOMOYUKI TSUTYA e ALÉM SOBRINHO, 2011):

a) “Sistema de esgotamento unitário, ou sistema combinado, em que as águas residuárias (domésticas e industriais), águas de infiltração (água de subsolo) que penetra no sistema através de tubulações e órgãos acessórios) e águas pluviais veiculam por um único sistema”.

b) “Sistema de esgotamento separador parcial, em que uma parcela das águas de chuva, provenientes de telhados e pátios das economias são encaminhadas juntamente com as águas residuárias e águas de infiltração do subsolo para um único sistema de coleta e transporte dos esgotos”.

c) “Sistema separador absoluto, em que as águas residuárias (domésticas e industriais) e as águas de infiltração (água do subsolo que penetra através das tubulações e órgãos acessórios), que constituem o esgoto sanitário, veiculam em um sistema independente, denominado sistema de esgoto sanitário. As águas pluviais são coletadas e transportadas em um sistema de drenagem pluvial totalmente independente”.

Por recomendações técnicas, no Brasil é adotado o sistema separador absoluto para a coleta e transporte do esgoto sanitário. A coleta e o afastamento das águas servidas se fazem pelos sistemas de esgotos sanitários. Neste tipo de sistema, as águas pluviais são coletadas e conduzidas pelo seu próprio sistema, e por sua vez os esgotos sanitários devem ser conduzidos em redes distintas. Em hipótese alguma os efluentes de esgoto devem ser lançados na galeria de águas pluviais e evidentemente as águas de chuvas nunca devem ser lançadas nas redes coletoras de esgoto. (VANDERLEI FESTI, 2004)

As principais partes de um sistema de esgotamento sanitário são definidas a seguir (TOMOYUKI TSUTYA e ALÉM SOBRINHO, 2011):

- A rede coletora é o “conjunto de canalizações destinadas a receber e conduzir os esgotos dos edifícios; o sistema de esgotos predial se liga diretamente à rede coletora por uma tubulação chamada coletor predial. A rede coletora é composta de coletores secundários, que recebem diretamente as ligações, e, coletores troncos. O coletor tronco é o principal de uma bacia de drenagem, que recebe a contribuição dos coletores secundários, conduzindo seus efluentes a um interceptor ou emissário”.

- O interceptor é a “canalização que recebe coletores ao longo de seu comprimento, não recebendo ligações prediais diretas”.

- O emissário é a “canalização destinada a conduzir os esgotos a um destino conveniente (estação de tratamento e/ou lançamento) sem receber contribuições em marcha”.

- O sifão invertido consiste em uma “obra destinada à transposição de obstáculo pela tubulação de esgoto, funcionando sob pressão”.

- O corpo de água receptor é o “conjunto de instalações destinadas a transferir os esgotos de uma cota mais baixa para outra mais alta”.

- A estação de tratamento de água é o “conjunto de instalações destinadas à depuração dos esgotos, antes de seu lançamento”.

2.3.1 Concepção do sistema de esgotamento sanitário

A concepção do sistema de esgotamento sanitário consiste no estudo da combinação das diferentes partes de um sistema, organizadas de forma integrada e que devem ser qualitativa e quantitativamente comparáveis entre si para que seja possível escolher o melhor arranjo, tanto do ponto de vista técnico e econômico quanto financeiro e social (ABNT, 1986).

De acordo com Tomotuki Tsutya e Além Sobrinho (2011), a concepção tem os seguintes objetivos:

- Identificar e quantificar de todos as variáveis que influenciam os sistemas de esgoto;
- Realizar o diagnóstico da situação atual e futura do sistema de esgoto existente,
- Definir todos os parâmetros básicos de projeto;

- Pré-dimensionar as unidades dos sistemas, para que seja escolhida a melhor alternativa possível;
- Comparação técnica, econômica e ambiental, entre as alternativas, para escolha da alternativa adequada;
- Estabelecer as diretrizes gerais de projeto e estimar quantitativamente os serviços que devem ser executados na fase de projeto.

Atualmente, existem diversos softwares capazes de realizar a simulação hidráulica de um sistema de esgotamento sanitário, que se apresentam como ferramentas não estruturais capazes de otimizar o processo de concepção do sistema de esgotamento sanitário.

2.3.2 Infiltração de águas pluviais

A infiltração de água pluvial na rede de esgoto é um problema comum em áreas urbanas onde há grande impermeabilização do solo devido à ocupação humana. O aumento das superfícies impermeáveis dificulta a absorção natural da água da chuva, levando ao aumento do escoamento superficial e ao congestionamento do sistema de esgoto.

A infiltração de águas pluviais no sistema de esgoto afeta a qualidade da água e sobrecarrega as redes de esgoto. A quantidade de poluentes introduzidos na rede de esgoto durante as chuvas depende da natureza da área de captação, do estado técnico do sistema de esgoto, das soluções técnicas e tecnológicas aplicadas na estação de tratamento de esgoto e das condições meteorológicas da região (SUCHOWSKA-KISIELEWICZ e NOWOGOŃSKI , 2021).

Para reduzir a infiltração água pluvial nos sistemas de esgotamento sanitário, diversas soluções podem ser adotadas, como o uso de modelos de gestão de águas pluviais, como o modelo SWMM (Storm Water Management Model), que podem auxiliar na redução de enchentes e transbordamentos em redes de esgoto. Essas soluções visam reduzir a sobrecarga nos sistemas de esgoto, minimizando os impactos ambientais e de saúde associados a transbordamentos durante chuvas intensas (A HTIF, K NILE e ALI MOHAMMED, 2021).

2.3.3 RDII

Rainfall Derived Infiltration and Inflow (RDII), em português “Infiltração e Influxo Derivados de Chuvas”, refere-se à água excedente que entra em sistemas de esgoto sanitário devido à infiltração da água da chuva. É um problema comum em sistemas de esgoto,

especialmente em áreas urbanas, onde a precipitação é alta e a infraestrutura de esgoto está envelhecida ou danificada. A água da chuva pode entrar nos sistemas de esgoto através de conexões ilegais, como tubulações de drenagem de telhados, bombas de sumidouros e tubulações laterais com vazamentos (WEF, 2017).

O RDII é composto por duas formas principais de entrada: as entradas diretas, que incluem o escoamento superficial gerado em superfícies impermeáveis diretamente conectadas aos sistemas de esgoto sanitário, como calhas de telhado, drenos de fundação, conexões cruzadas de redes pluviais ou poços de visita com vazamentos; e a infiltração subsuperficial, que engloba a água infiltrada proveniente da precipitação (infiltração) e a água subterrânea que adentra as tubulações por meio de defeitos nas mesmas (ZHANG e J. PAROLARI, 2022).

2.4 Modelagem Hidráulica/Hidrológica

Os modelos computacionais objetivam simplificar processos ou operações, sem interferir no seu funcionamento, de modo a facilitar o entendimento de certos fenômenos, concedendo a possibilidade de realizar simulações em diferentes cenários (BARBOSA FERNANDES, 2017).

A modelagem hidráulica e hidrológica aplicada à drenagem urbana é uma abordagem utilizada para analisar e prever o comportamento do escoamento de água em áreas urbanas durante eventos de chuva. Essa modelagem é importante para projetar sistemas de drenagem eficientes, mitigar inundações e garantir o manejo adequado das águas pluviais (ALMEIDA DE SÁ MARQUES e DE OLIVEIRA SOUSA, 2009).

A modelagem hidrológica tem como objetivo estimar a quantidade de água que chega ao sistema de drenagem urbana durante eventos de chuva. Isso envolve o estudo das características da bacia hidrográfica, como precipitação, evaporação, infiltração do solo e escoamento superficial. Com base nessas informações, é possível determinar as vazões de pico e o volume total de água que entra no sistema de drenagem.

A modelagem hidráulica em sistemas de coleta e transporte de esgoto sanitários vem sendo bastante aplicada, muito pelo fato de tornarem possível uma maior rapidez e facilidade no cálculo proporcionados pelo uso de *hardware* e *software* (TOMOYUKI TSUTYA e ALÉM SOBRINHO, 2011). Abaixo estão listados alguns *softwares* utilizados para realizar simulações hidráulicas de redes de esgotamento sanitário:

✓ MIKE URBAN: consiste em software utilizado para modelar sistemas de distribuição de água, drenagem de águas pluviais e coleta de esgoto em sistemas separados e combinados (DHI, 2020).

✓ SewerCAD: é um programa computacional de modelagem hidráulica que permite simular redes de esgotamento sanitário de força pressurizada e hidráulica de gravidade, usando análise de estado estacionário com vários fatores de pico padrão e simulações de período estendido (BENTLEY SYSTEMS, 2014).

✓ SWMM: modelo hidrológico-hidráulico utilizado principalmente para simulações em áreas urbanas. Por meio deste, é possível analisar o funcionamento de um sistema e realizar simulações que ajudem a identificar falhas no sistema (A. ROSSMAN, 2010).

✓ O PCSWMM: é um programa, distribuído pela CHI Water, que utiliza o modelo SWMM, por meio de uma interface de fácil utilização e com recursos aprimorados. Vale destacar que PCSWMM é integrado com um Sistema de Informações Geográficas, o que facilita a entrada de dados e a visualização dos resultados (SANTOS ARAÚJO, LEITE COSTA e KOIDE, 2019).

2.4.1 SWMM e PCSWMM

O SWMM é conhecido por sua ênfase em sistemas de condução de água projetados para escoamento de águas pluviais e gerenciamento de águas residuais. Ele tem sido aplicado em diversas áreas, incluindo análise de enchentes, planejamento de esgotos, design de sistemas de esgoto combinados e sanitários, e avaliação do desempenho de estratégias de infraestrutura verde para o controle de águas pluviais (A. ROSSMAN e A. SIMON, 2022).

O PCSWMM é um software avançado de modelagem para sistemas de águas pluviais, esgoto, bacias hidrográficas e distribuição de água. É um *software* de modelagem hidráulica/hidrológica que utiliza o mecanismo de simulação SWMM (Storm Water Management Model). Em comparação com o SWMM, o PCSWMM apresenta algumas vantagens e desvantagens (PCSWMM, 2023).

Uma das vantagens do PCSWMM em relação ao SWMM é sua capacidade de fornecer uma interface gráfica mais amigável e intuitiva, o que facilita a visualização e a análise dos resultados do modelo. Isso é especialmente útil para usuários que dependem de apresentações visuais e gráficos para interpretar os dados de simulação. Além disso, o PCSWMM oferece recursos adicionais, como a capacidade de modelar facilmente o

escoamento em estradas e cruzamentos, o que pode ser útil em projetos de drenagem urbana (PCSWMM, 2023).

No entanto, o PCSWMM também possui algumas desvantagens em relação ao SWMM. Uma delas é que o PCSWMM é uma versão comercial, enquanto o SWMM é um modelo de domínio público. Além disso, embora o PCSWMM utilize o mecanismo de simulação SWMM, é importante estar ciente de que existem algumas diferenças na forma como os fluxos, as profundidades e os parâmetros hidráulicos são calculados. Essas diferenças podem afetar os resultados da simulação em certas situações (PCSWMM, 2023).

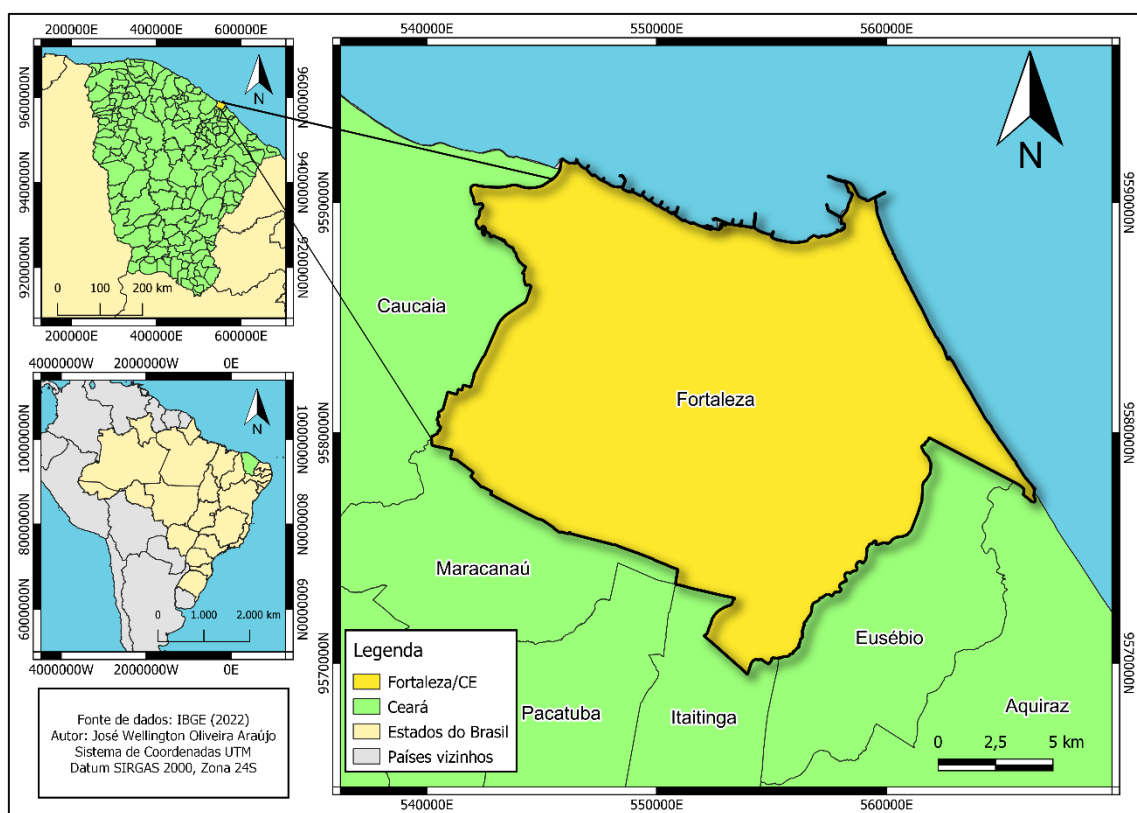
Em resumo, o PCSWMM apresenta vantagens, como uma interface gráfica mais amigável e recursos adicionais para modelagem de escoamento em estradas, mas também possui desvantagens, como ser uma solução comercial e algumas diferenças no cálculo hidráulico em comparação com o SWMM original. A escolha entre o PCSWMM e o SWMM dependerá das necessidades e prioridades específicas do usuário (PCSWMM, 2023).

3. METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

O município de Fortaleza (Figura 1), capital do Estado do Ceará, fica localizado a 3° 43' 35" de latitude Sul e 38° 32' 35" de longitude W. Gr., na zona litorânea. Os municípios limítrofes a cidade são os de Aquiraz, Caucaia, Pacatuba e Maranguape, Itaitinga, Maracanaú e Eusébio, além de ser limítrofe ao oceano Atlântico. Fortaleza possui uma área de aproximadamente 314,9 Km² (IPECE, 2017).

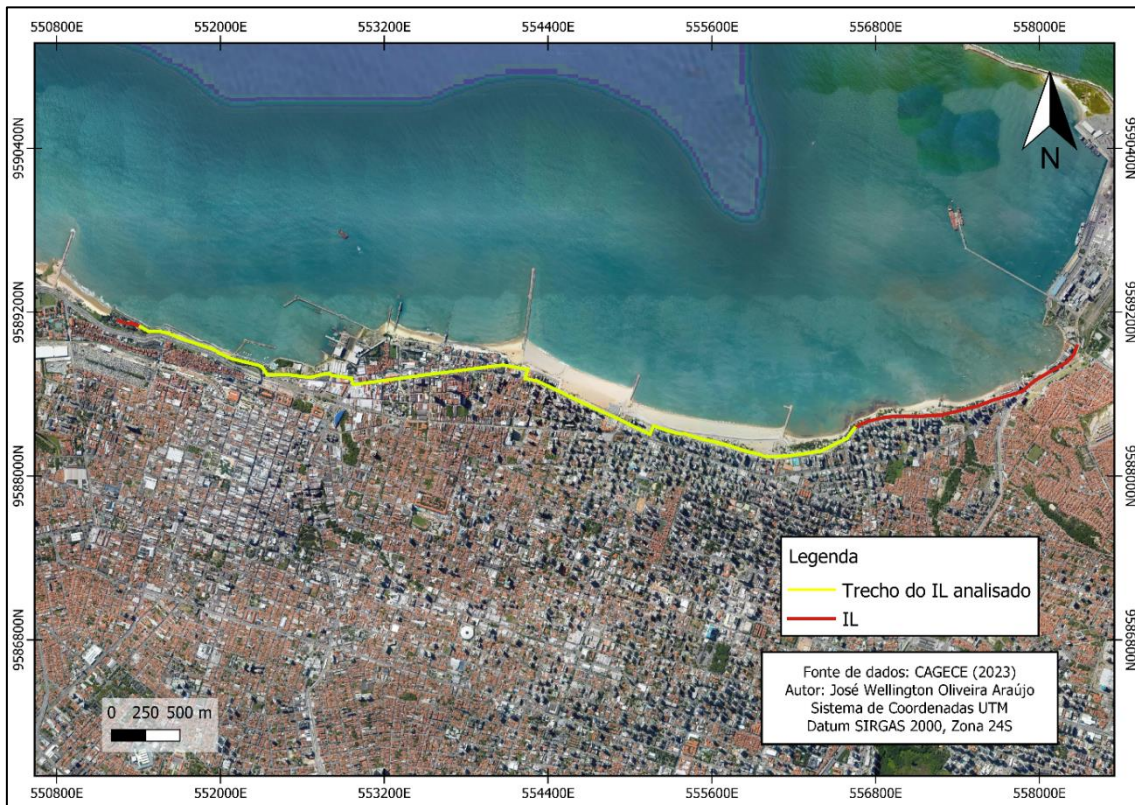
Figura 1 – Mapa de localização de Fortaleza/CE.



Fonte: Autor, 2023.

O trecho da rede de esgotamento sanitário estudado (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**) foi o do Interceptor Leste (IL), que está situado na bacia Vertente Marítima do Município de Fortaleza e é constituído de tubulações de concreto armado com diâmetros que variam de 900 a 1.750 mm. O IL possui cerca de 7,5 km de extensão, já o trecho analisado tem uma extensão de 5,7 Km (PORTO PEREIRA, BARBOSA FERNANDES, *et al.*, 2021).

Figura 2 – Mapa de localização do trecho do IL analisado.



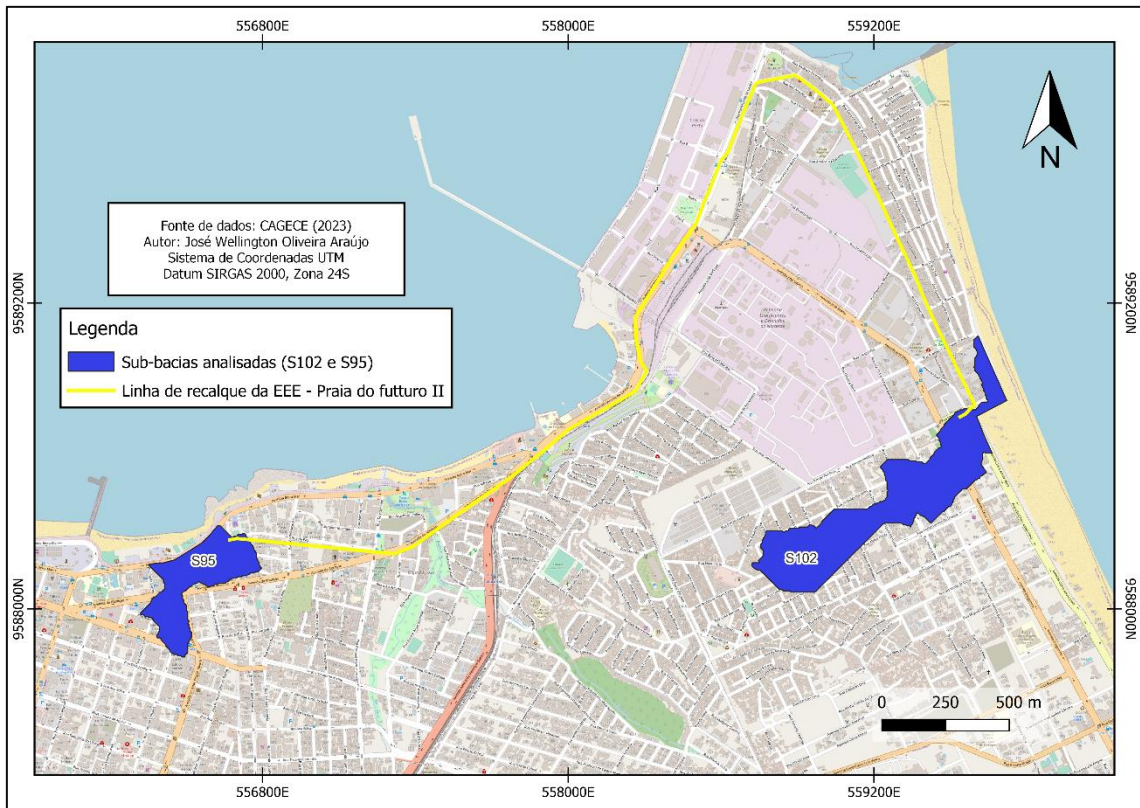
Fonte: Autor, 2023.

No presente trabalho foi considerada a contribuição de esgoto do coletor tronco proveniente da Estação Elevatória de Esgoto (EEE) Parque Ecológico (Figura 3) e da linha de recalque da EEE Praia do Futuro II (Figura 4). O coletor tronco do Parque Ecológico está a jusante e conectado a linha de recalque da EEE Parque Ecológico.

A EEE Praia do Futuro II é um sistema que combina grade e poço seco, possui um conjunto de bombas de 2+1, com uma vazão de 494 m³/h e potência de 50 CV. Ela tem uma altura manométrica de 16 m e, em 2014, trabalhava apenas durante os períodos de pico de contribuição, entre 10h e 15h, com uma bomba com o registro "estrangulado". Isso ocorria pelo fato de o IL apresentar extravasões se a EEE Praia do Futuro II operar 24 horas por dia (FORTALEZA, 2014).

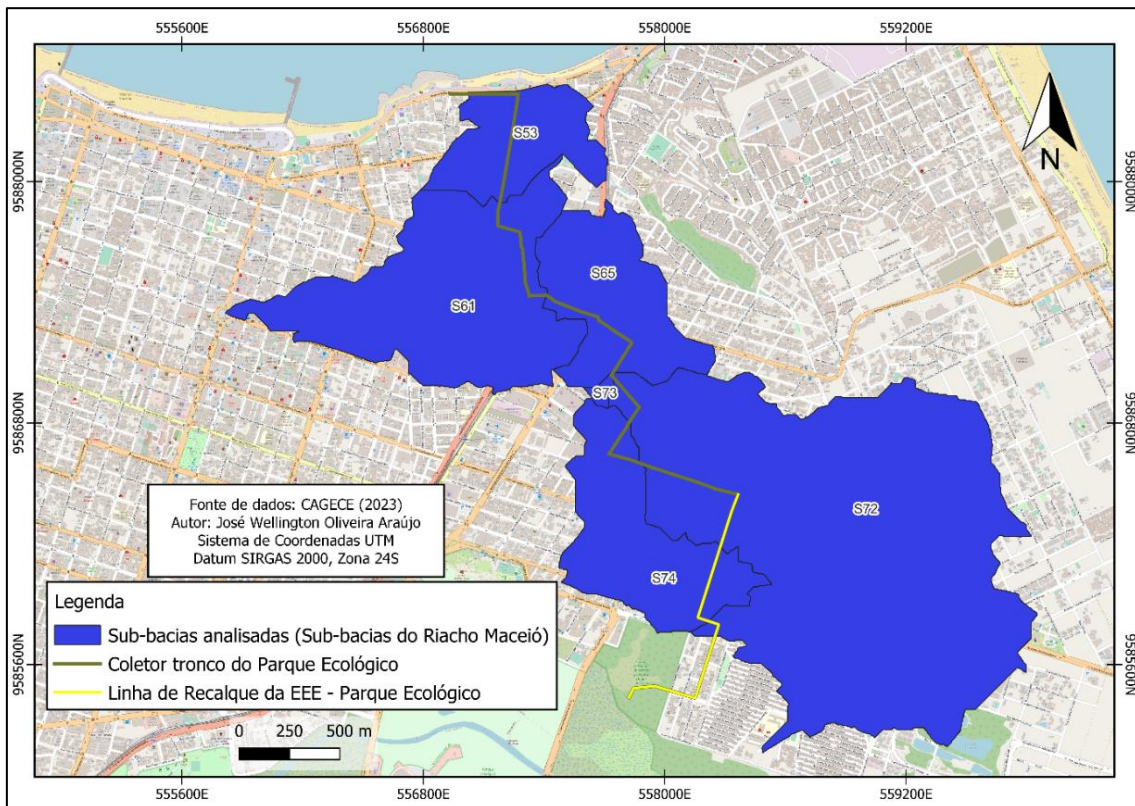
A EEE Parque Ecológico também é um sistema que combina grade e poço seco, e sua operação envolve o uso de um conjunto de bombas de 2+1, com uma vazão de 612 m³/h e potência de 75 CV. A EEE Parque Ecológico possui uma altura manométrica de 22 m (FORTALEZA, 2014).

Figura 3 – Mapa de localização da Linha de recalque da EEE – Praia do Futuro II e das sub-bacias S102 e S95.



Fonte: Autor, 2023.

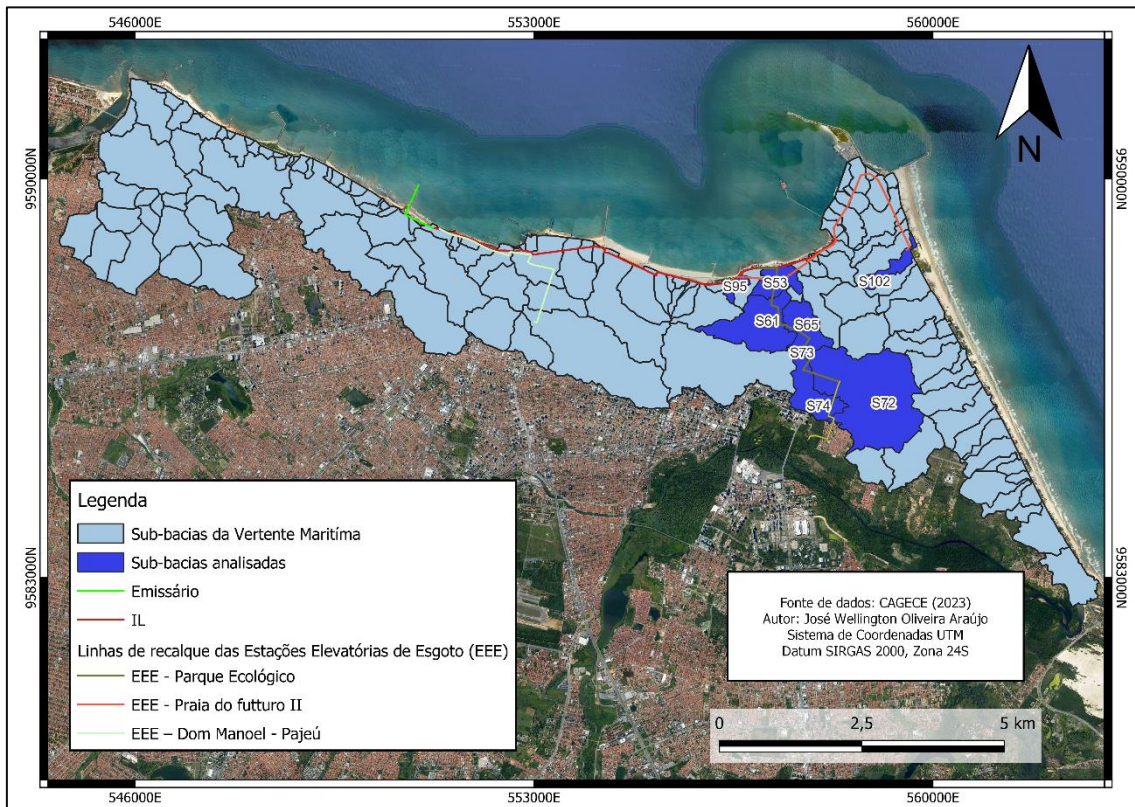
Figura 4 - Mapa de localização do coletor tronco e da Linha de recalque da EEE Parque Ecológico e das sub-bacias do Riacho Maceió.



Fonte: Autor, 2023.

Assim como as EEEs citadas, as sub-bacias de drenagem de águas pluviais analisadas (Figura 5- Mapa de situação da área de estudo.) fazem parte da Vertente Marítima, sendo 6 sub-bacias do Riacho Maceió (S53,S61,S65, S73,S74 e S72) e as sub-bacias S102 e S95, a S102 está situada no início da linha de recalque da EEE Praia do Futuro II e a S95 no final.

Figura 5- Mapa de situação da área de estudo.



Fonte: Autor, 2023.

3.2 Levantamento de dados

Para realizar o estudo foram coletados dados referentes à rede coletora de esgoto e rede de drenagem, como, por exemplo, vazões, os tipos de materiais constituintes, extensão, vazões e outras variáveis que afetam o funcionamento da rede coletora de esgoto e rede de drenagem de águas pluviais. Tais dados foram fornecidos pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE. O presente trabalho faz parte de um projeto que é uma parceria entre a FUNCAP (Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico), UFC e CAGECE por meio do Edital de Chamamento Público 02/2021.

No que se refere aos dados do sistema de drenagem e das sub-bacias analisadas, eles foram baseados no modelo computacional SWMM validado por (MESQUITA, 2018), que propôs a modelagem do sistema de drenagem urbana da bacia Vertente Marítima, subdividindo a mesma em 139 sub-bacias, com 212 junções, 60 exultórios e 208 condutos. Já as precipitações máximas foram obtidas a partir de dados de chuva extraídos da estação meteorológica do Pici, situada no Campus do Pici da UFC e operada pelo Instituto Nacional de

Meteorologia (INMET). A estação possui uma série histórica de 30 anos, com dados medidos a cada 5 minutos.

Os cálculos das vazões das estações elevatórias de esgoto foram feitos considerando a vazão máxima de bombeamento de cada EEE e assumiu-se que as EEEs seguem um padrão de comportamento semelhante à Estação de Pré-condicionamento de Esgoto (EPC). Em outras palavras, para cada uma das EEEs, foi adotado um hidrograma com uma forma idêntica ao da EPC. Vale salientar que, com exceção dos dados das vazões das EEEs, os demais dados de vazão e hidráulica do sistema de esgotamento sanitário foram extraídos dos trabalhos realizados por (BARBOSA FERNANDES, 2017).

3.3 Simulação no PCSWMM

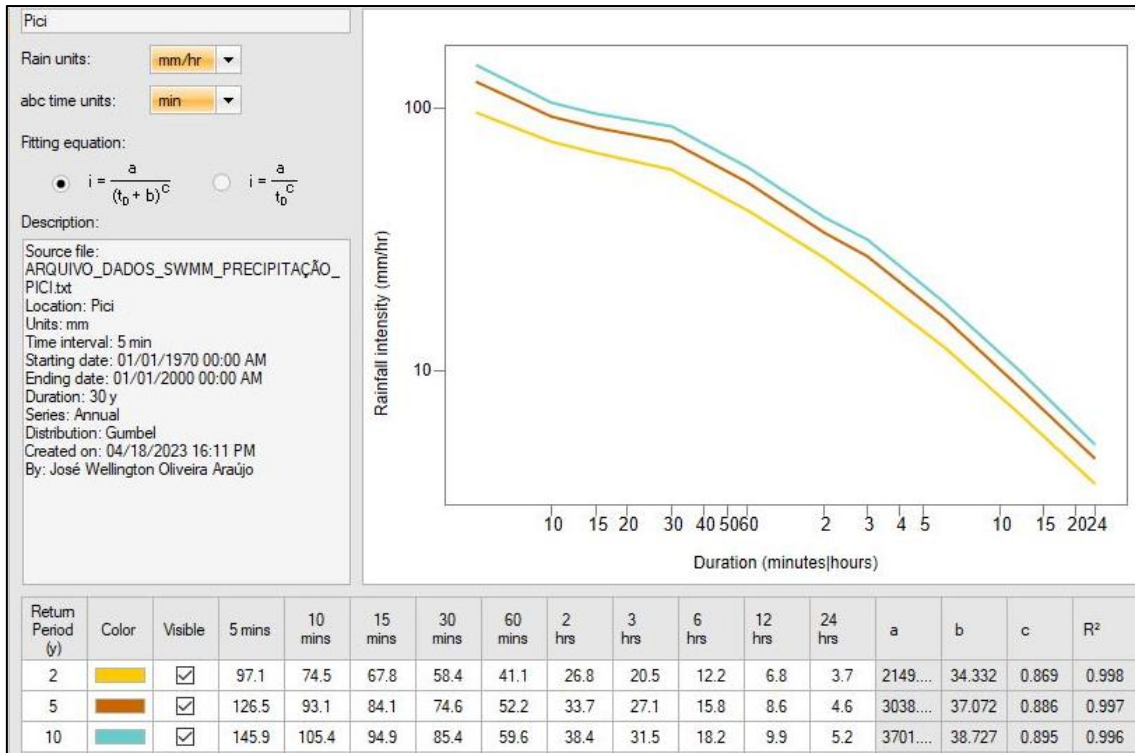
A análise do trecho da rede coletora de esgoto de estudo foi feita por meio do programa PCSWMM, sendo que propiciou uma visualização dinâmica da rede através da modelagem hidráulica. Assim, foi possível identificar as falhas na rede e, com base nos resultados, foram propostas medidas para solucionar ou mitigar tais falhas. Para realizar as simulações no PCSWMM foram utilizados os dados fornecidos pela CAGECE.

3.4 Curva IDF

As curvas IDF (intensidade-duração-frequência) são utilizadas para estimar os níveis de precipitação extrema em diferentes durações e períodos de retorno. Essas curvas relacionam a intensidade da chuva com a duração e a probabilidade de ocorrência.

O PCSWMM possui recursos para criar e manipular curvas IDF, oferece uma interface gráfica que permite importar dados IDF, calcular os parâmetros a, b e c (constantes diretamente dependentes do local) com base nos dados do usuário e plotar as curvas IDF no painel de gráficos. A Figura 6 apresenta os valores das constantes a, b e c, assim como as curvas IDF.

Figura 6 – Curvas IDF geradas no PCSWMM



Fonte: Autor, 2023.

A partir dessas curvas IDF, com distribuição *Gumbel* do tipo simétrica, foi possível estimar as precipitações máximas para diferentes períodos de retorno (2, 5 e 10 anos). A data de estudo escolhida foi o dia 2 de abril de 1985, já que foi o dia de maior volume de chuva do mês com maior precipitação do ano e que possui a menor variação em relação à média anual dos dados coletados na estação pluviométrica de Pici (SOUSA ANCHIETA, 2022).

Os valores de precipitação para todas as durações, variando de 5 minutos a 24 horas, em um único evento de tempestade com determinado período de retorno, ocorrem dentro do mesmo período de 24 horas. Essa distribuição é baseada na metodologia desenvolvido pelo *Natural Resources Conservation Service (NRCS)* do *Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA)*, descrito no *National Engineering Handbook – Part 630 Hydrology* (SOUSA ANCHIETA, 2022).

3.5 Estimativa do RDII através dos parâmetros RTK

A metodologia RTK (*Rainfall-to-kinematic flow*) é utilizada para estimar o volume de escoamento pluvial que ocorre em sistemas de drenagem urbana, conhecido como RDII. Essa metodologia, aplicada no software PCSWMM, combina informações sobre a precipitação

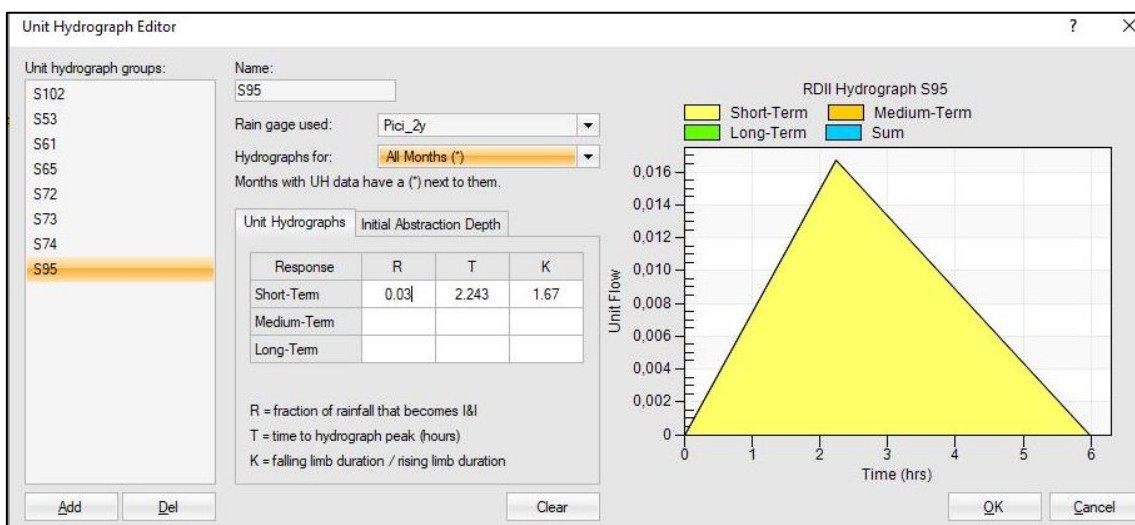
pluviométrica com parâmetros hidráulicos e topográficos do sistema de drenagem para calcular o volume de RDII (BENTLEY, 2023).

O método RTK é utilizado para gerar hidrogramas com base em dados de precipitação e é frequentemente aplicado para determinar a RDII (Infiltração e Influxo Derivados da Chuva) em redes de esgoto sanitário. Esse método caracteriza o hidrograma combinando hidrogramas triangulares provenientes de três componentes de fluxo: influxo rápido, infiltração moderada e infiltração lenta. O hidrograma resultante é formado pela soma desses três componentes de fluxo (Q1, Q2 e Q3). O método RTK trata o sistema entre a precipitação e o fluxo no esgoto como uma caixa preta representada por três parâmetros: R, T e K (BENTLEY, 2023).

O parâmetro R representa a fração do volume de precipitação que entra no esgoto sanitário. O parâmetro T é o tempo de pico do influxo rápido, enquanto o parâmetro K representa a razão entre o tempo de recessão e pico. Esses parâmetros são utilizados no método RTK (Figura 7) para estimar as respostas do RDII de forma rápida, moderada e lenta, respectivamente, por meio do ajuste de até três hidrogramas unitários triangulares ao hidrograma observado do RDII (BENTLEY, 2023).

Portanto, o método RTK utiliza os parâmetros R, T e K para caracterizar as respostas do influxo e infiltração derivados da chuva em redes de esgoto sanitário, sendo uma abordagem comumente empregada na análise e planejamento de transbordamentos de esgoto sanitário.

Figura 7 – Interface do PCSWMM: Inserção dos parâmetros R, T e K.



3.5 Simulação no PCSWMM dos diferentes cenários

As simulações no *software* PCSWMM foram realizadas com base no trabalho de ANCHIETA (2022), que utilizou a metodologia RTK para avaliar a influência de diferentes valores de infiltração (1%, 3%, 5%, 7% e 10%) de águas pluviais da bacia do riacho Maceió no coletor tronco Parque Ecológico, considerando períodos de retorno de 2, 5 e 10 anos. Neste trabalho, foi avaliado o impacto da infiltração de águas pluviais em um trecho do IL, considerando a contribuição das sub-bacias do Riacho Maceió e de outras duas sub-bacias (S95 e S102) da Vertente Marítima, uma situada na entrada e outra no final da linha de recalque da EEE Praia do Futuro II.

No presente trabalho foi considerado um período de simulação de 19 horas e foram analisados quatro cenários para diferentes períodos de retorno (2, 5 e 10 anos) e para valores de infiltração de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%:

Cenário 1: Simulação hidráulica da rede de esgoto sem contribuição de água pluvial (Figura 8).

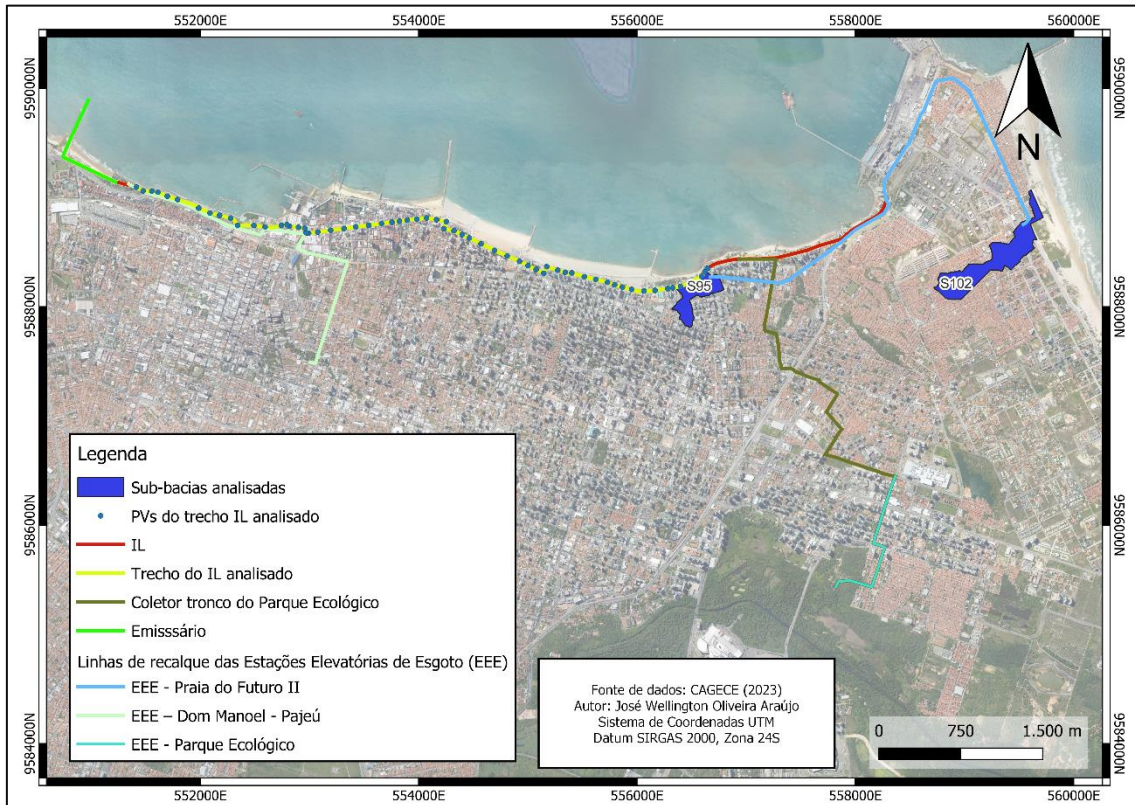
Figura 8 – Cenário 1: Simulação hidráulica da rede de esgoto sem contribuição de água pluvial.



Fonte: Autor, 2023.

Cenário 2: Simulação hidráulica da rede de esgoto com contribuição de água pluvial das bacias S95 e S102 (Figura 9).

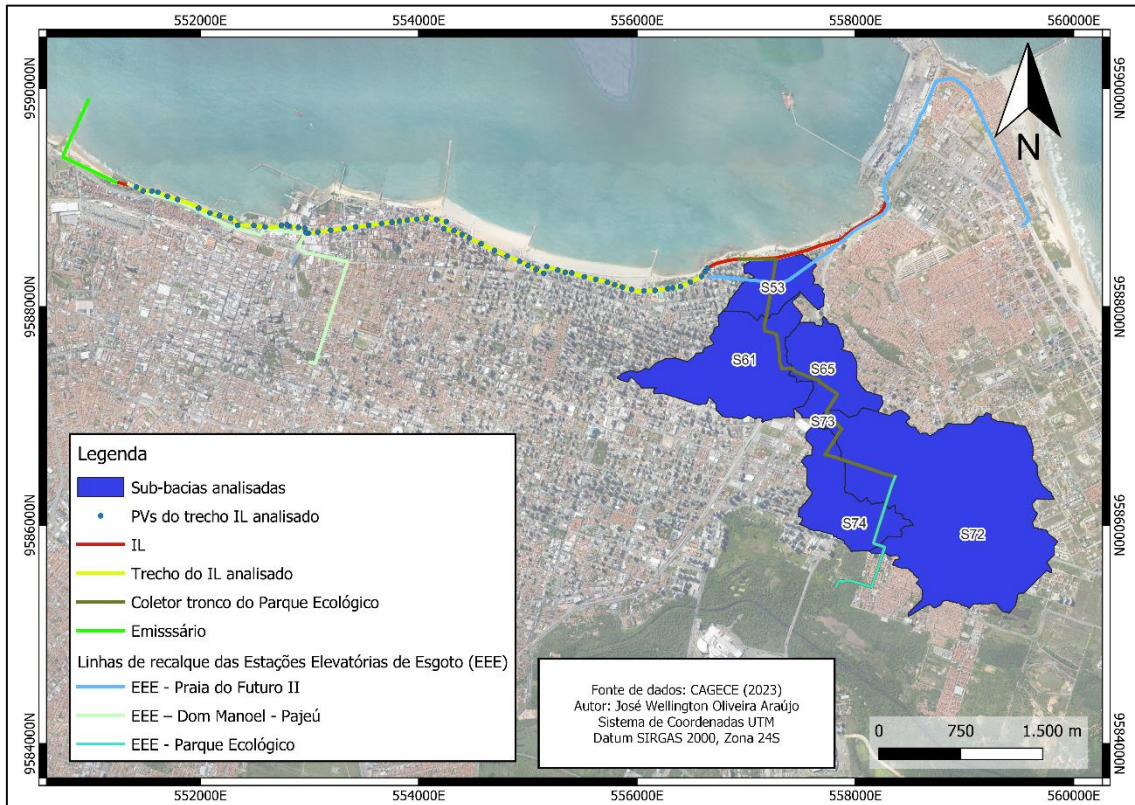
Figura 9 – Cenário 2: Simulação hidráulica da rede de esgoto com contribuição de água pluvial das bacias S95 e S102.



Fonte: Autor, 2023.

Cenário 3: Simulação hidráulica da rede de esgoto com contribuição de água pluvial das sub-bacias do riacho Maceió (Figura 10).

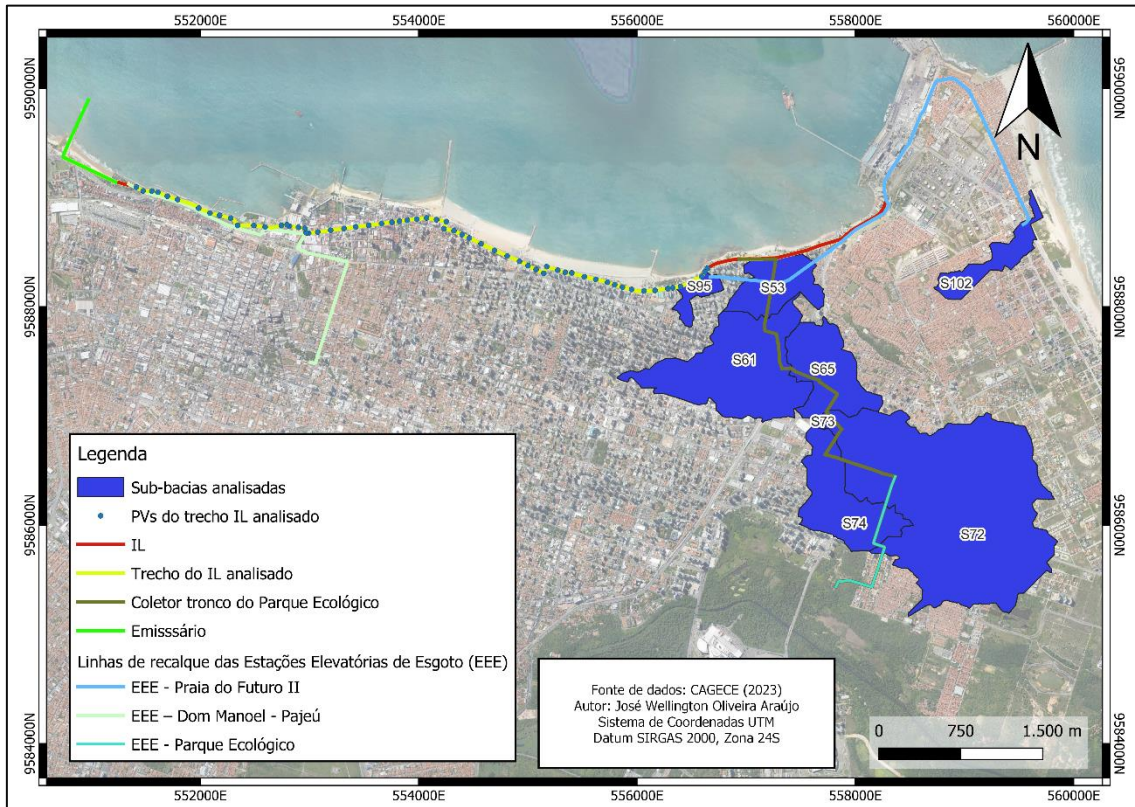
Figura 10 – Cenário 3: Simulação hidráulica da rede de esgoto com contribuição de água pluvial das sub-bacias do Riacho Maceió.



Fonte: Autor, 2023.

Cenário 4: Simulação hidráulica da rede de esgoto com contribuição de água pluvial das sub-bacias S92, S102 e sub-bacias do riacho Maceió (Figura 11).

Figura 11 – Cenário 4: Simulação hidráulica da rede de esgoto com contribuição de água pluvial das sub-bacias S92, S102 e sub-bacias do riacho Maceió.

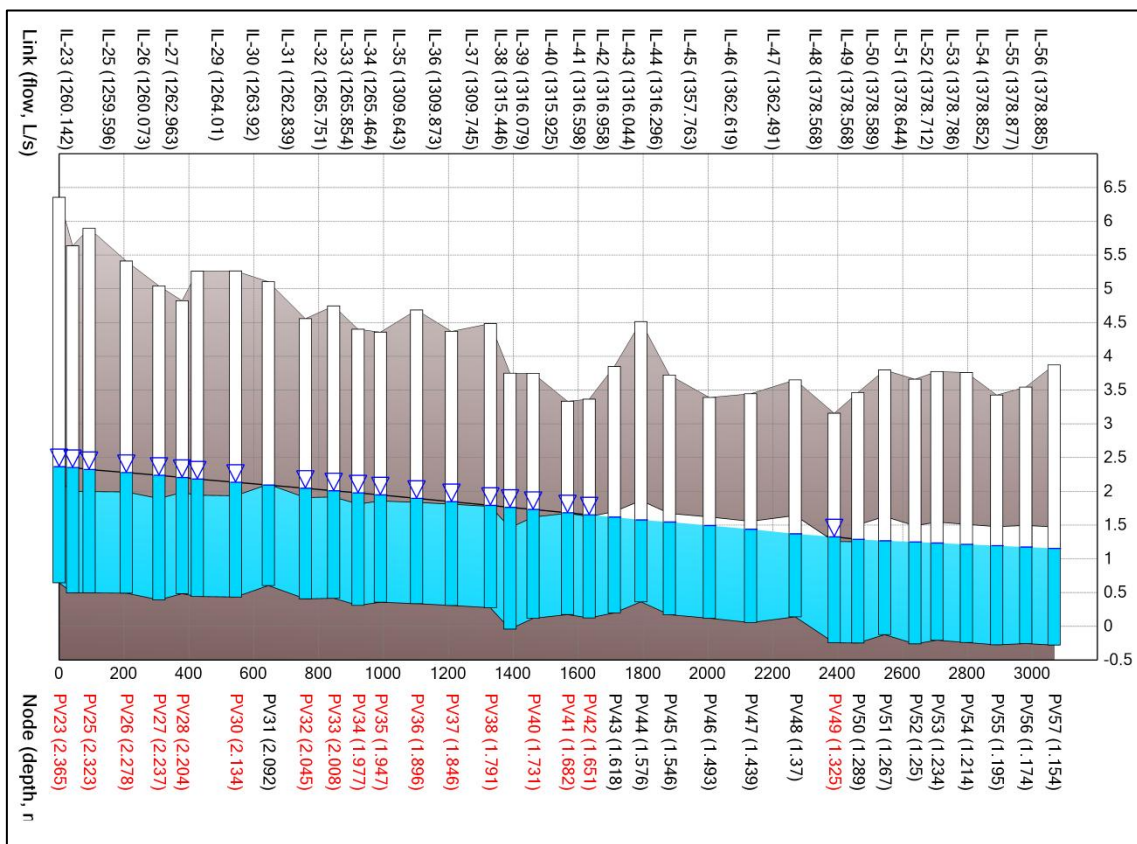


Fonte: Autor, 2023.

4 RESULTADOS

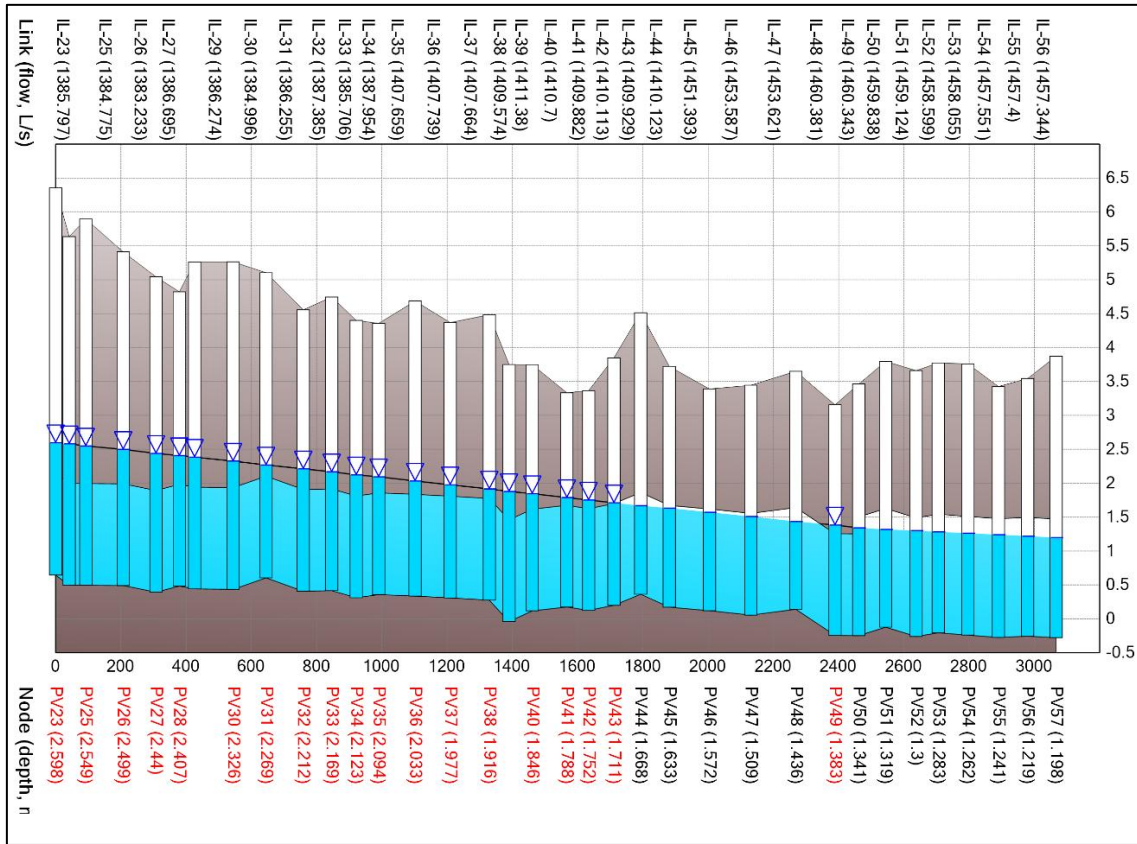
Após a realização das simulações dos diferentes cenários apresentados na metodologia deste trabalho não foi constatada qualquer extravasão nos Poços de Visita (PVs) do trecho do IL analisado. No entanto, foram identificados pontos críticos nos Cenários 3 e 4, sendo que alguns trechos da tubulação estão funcionando totalmente preenchidos. Nas Figuras 12 e 13 é apresentado o perfil hidráulico das tubulações com o maior número de pontos críticos.

Figura 12 – Perfil hidráulico da simulação do Cenário 3 com o maior número de pontos críticos – PR de 10 anos com parâmetro R de 10%.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 13 – Perfil hidráulico da simulação do Cenário 4 com o maior número de pontos críticos – PR de 10 anos com parâmetro R de 10%.

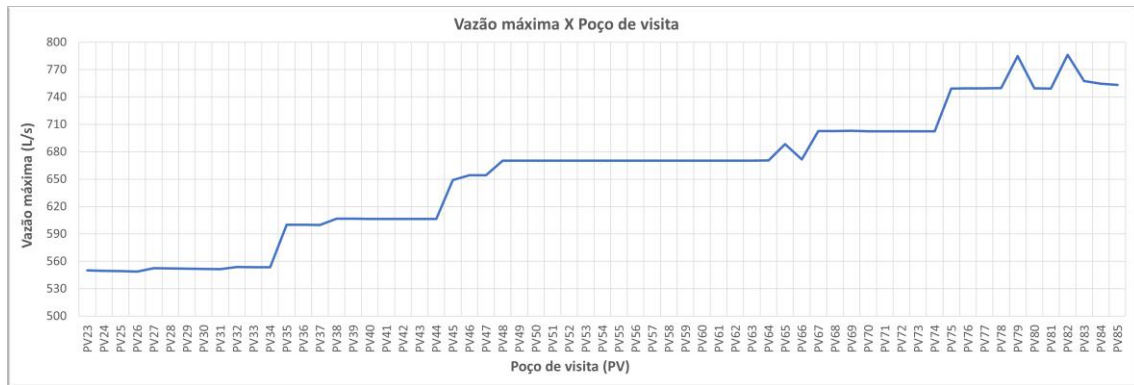


Fonte: Autor, 2023.

4.1 Cenário 1

O Cenário 1 não apresentou pontos críticos. Este resultado é satisfatório e coerente com a realidade do IL, já que o mesmo deve possuir dimensões mínimas que suportem as vazões em tempo seco, que são previstas em projeto. A Figura 14 apresenta as vazões máximas dos PVs no cenário em questão.

Figura 14 – C1: Simulação em tempo seco.

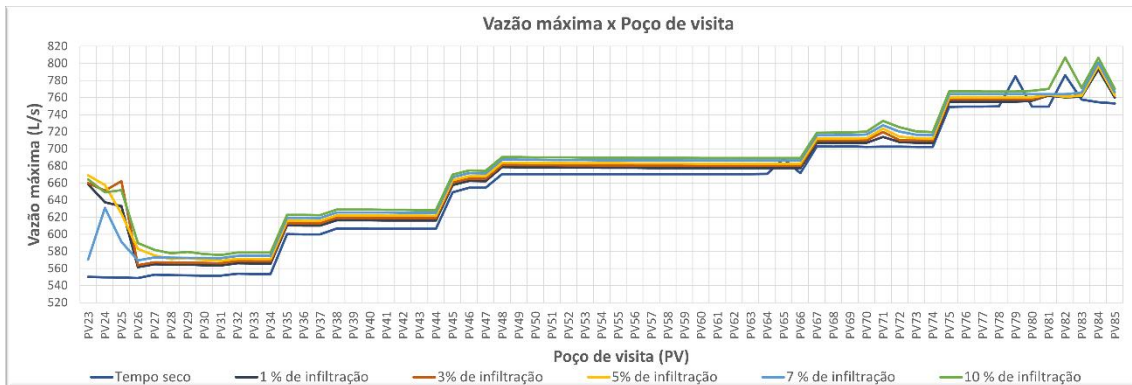


Fonte: Autor, 2023.

4.2 Cenário 2

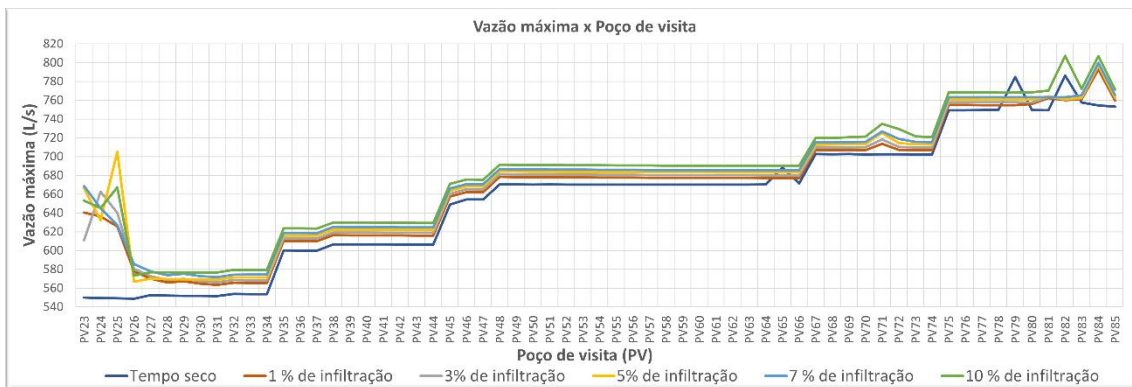
Assim como o Cenário 1, o 2 não apresentou pontos críticos, o que pode ser explicado pelo fato de ter sido considerada apenas a infiltração de águas pluviais de duas sub-bacias (S95 e S102), que somadas resultam em uma área total pequena, implicando em uma vazão de infiltração baixa. Mas vale ressaltar que mesmo com uma vazão de infiltração baixa, as vazões máximas totais do Cenário 2 são significativamente maiores que a do Cenário 1 (Figura 15, Figura 16 e Figura 17).

Figura 15 – Cenário 2: Simulações com PR de 2 anos e parâmetro R de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.



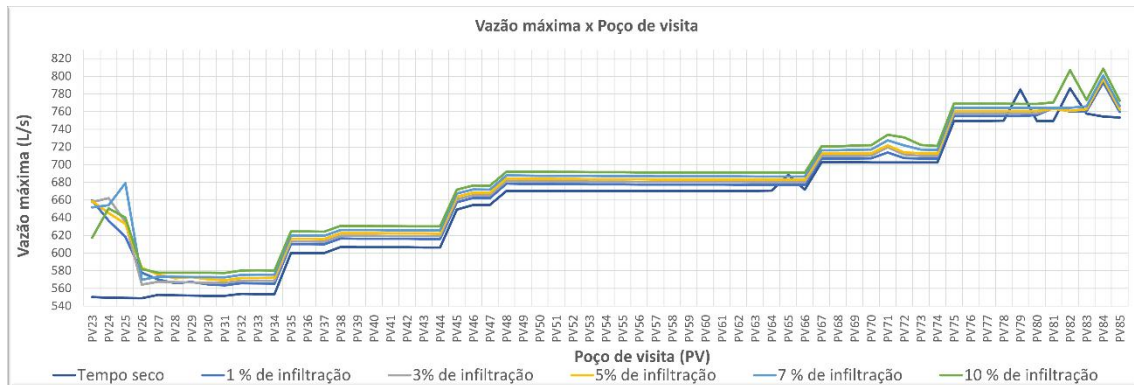
Fonte: Autor, 2023.

Figura 16 – Cenário 2: Simulações com PR de 5 anos e parâmetro R de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 17 – Cenário 2: Simulações com PR de 10 anos e parâmetro R de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.

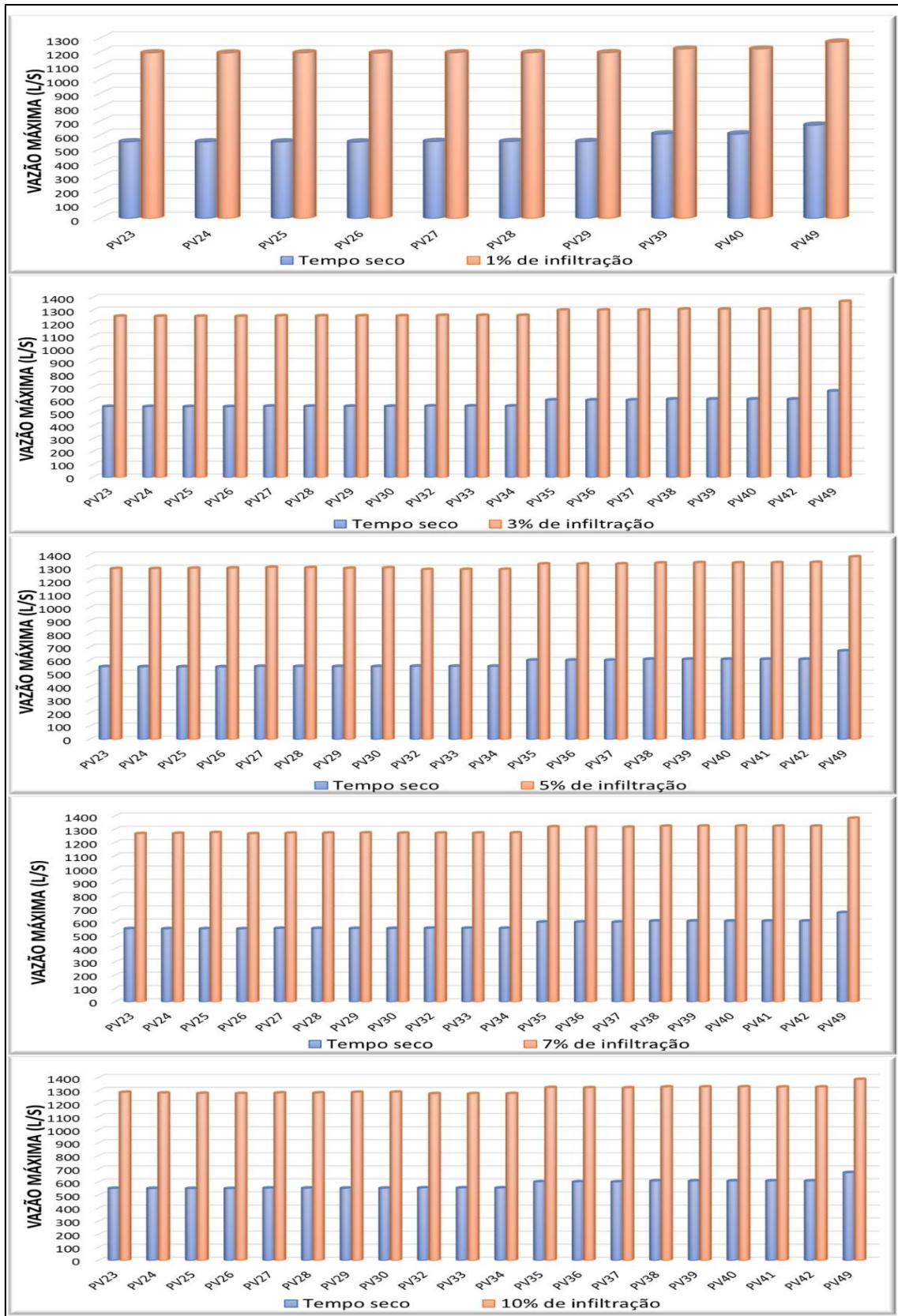


Fonte: Autor, 2023.

4.3 Cenário 3

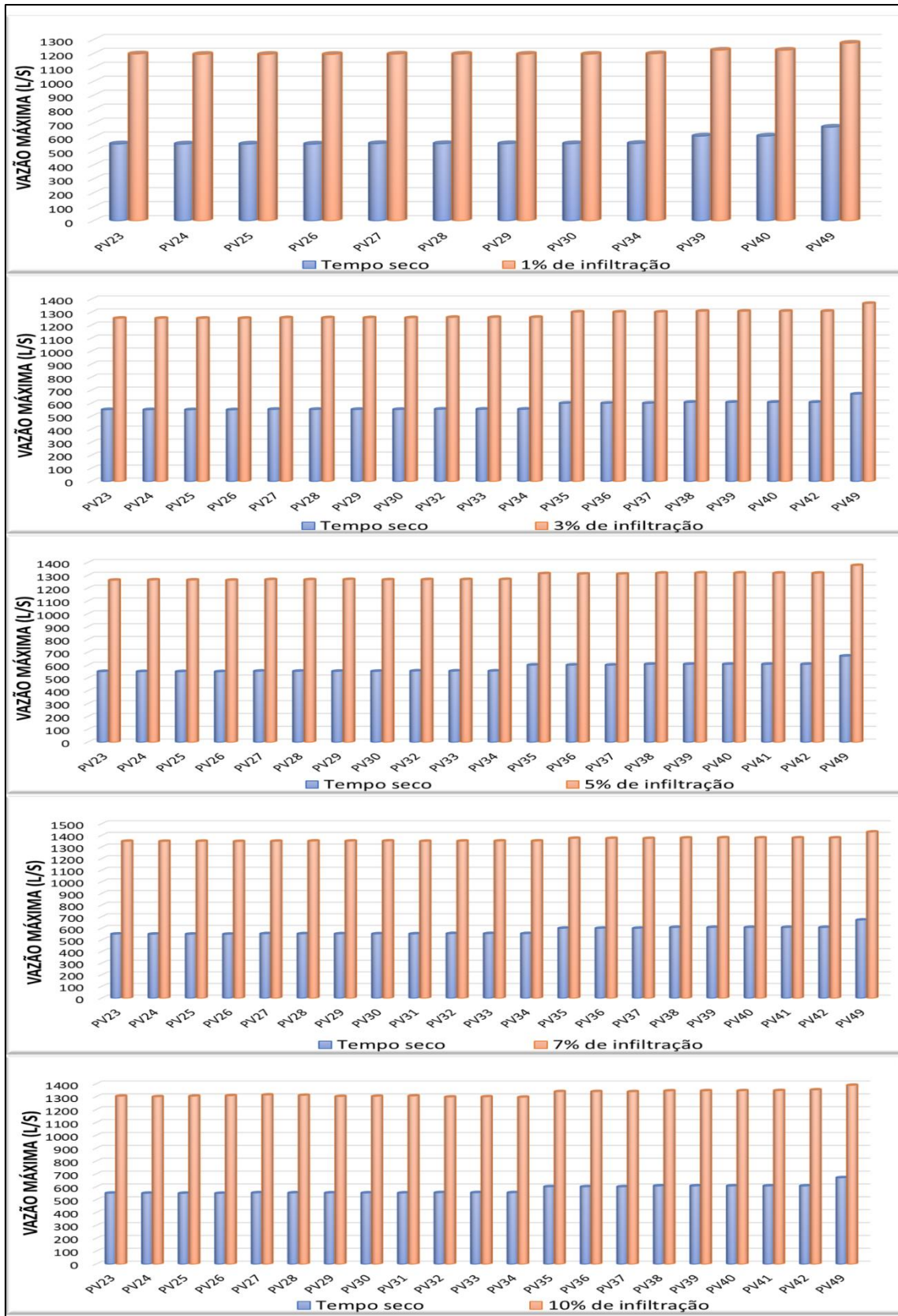
No Cenário 3 foram identificados pontos críticos em todas as simulações realizadas, sendo que no melhor resultado (Figura 18), com PR de 2 anos e parâmetro R de 1%, foram observados pontos críticos em 10 PVs (PV23, PV24, PV25, PV26, PV27, PV28, PV29, PV39, PV40 e PV49). Já no pior resultado (Figura 20), com PR de 10 anos e parâmetro R de 10%, 20 PVs (PV23, PV24, PV25, PV26, PV27, PV28, PV29, PV 30, PV32, PV33, PV34, PV36, PV37, PV38, PV39, PV40, PV41, PV42 e PV49) apresentaram estado crítico. Nas figuras abaixo, da Figura 18 até a Figura 20, são apresentadas as vazões máximas dos PVs em estado crítico em todas as simulações do Cenário 3.

Figura 18 - Cenário 3: PR de 2 anos e infiltrações de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.



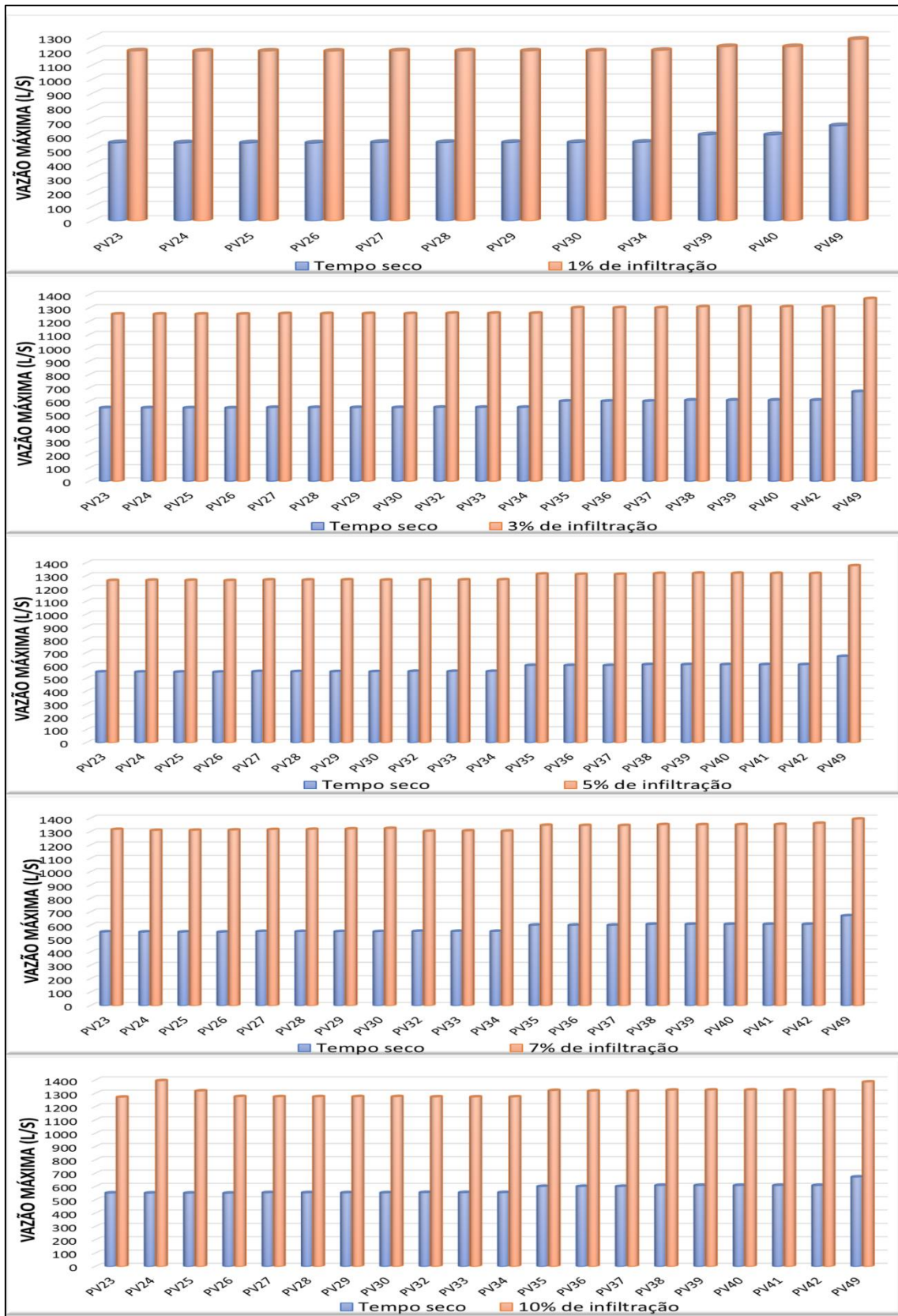
Fonte: Autor, 2023.

Figura 19 - Cenário 3: PR de 5 anos e infiltrações de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.



Fonte: Autor, 2023

Figura 20 - Cenário 3: PR de 10 anos e infiltrações de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.

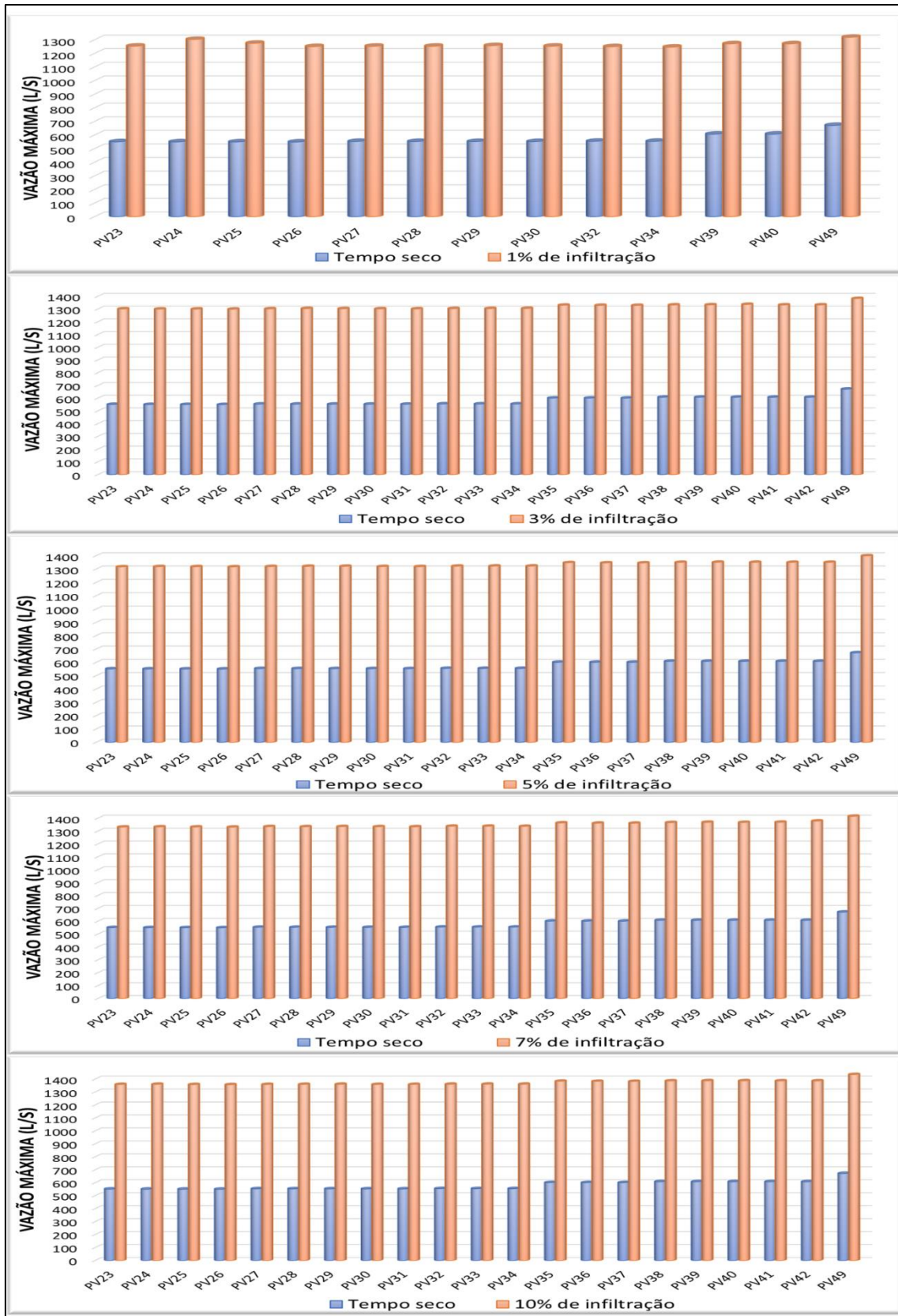


Fonte: Autor, 2023

4.4 Cenário 4

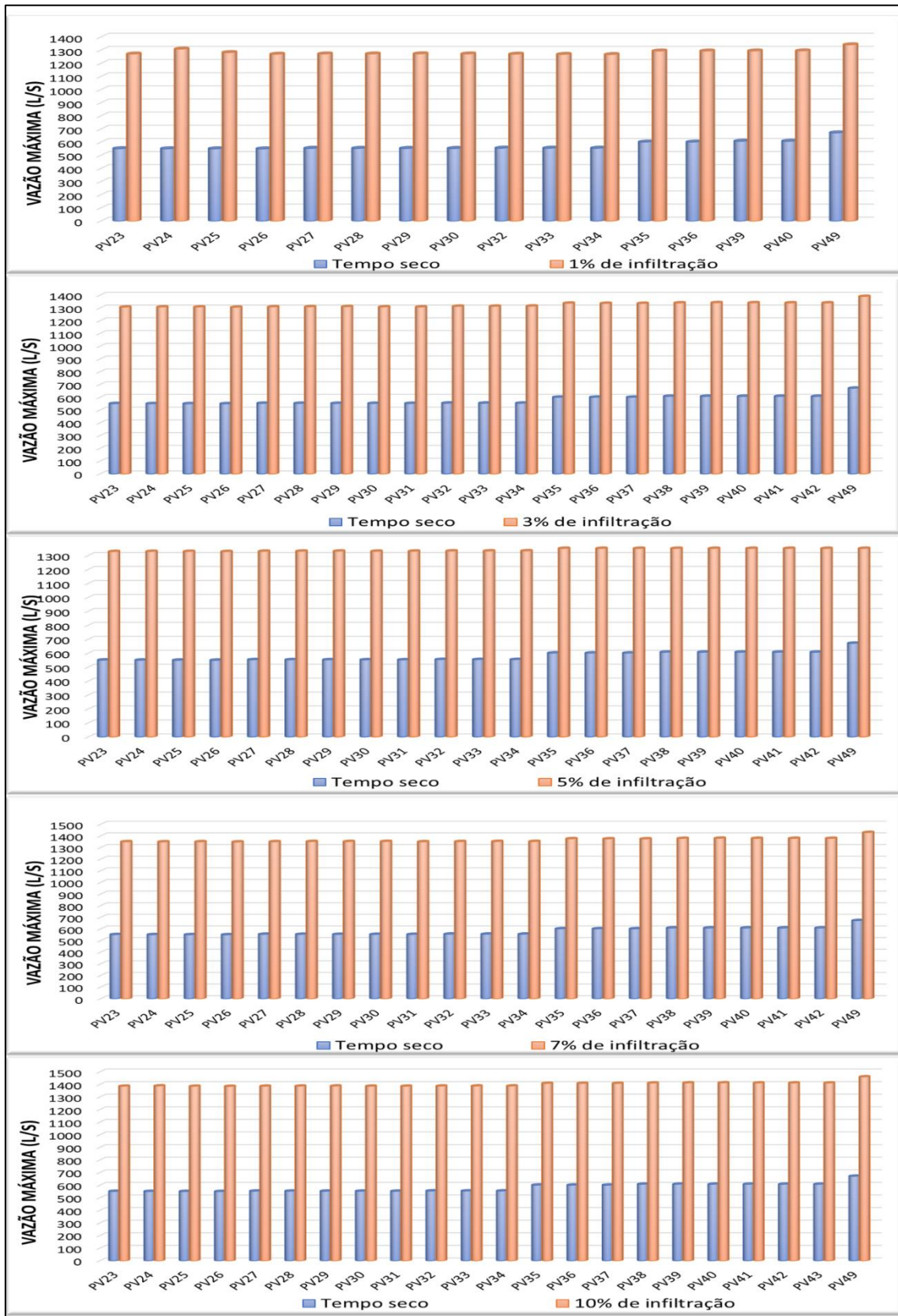
No Cenário 4, similarmente ao 3, foram identificados pontos críticos em todas as simulações realizadas, sendo que no melhor resultado (Figura 21), com PR de 2 anos e parâmetro R de 1%, foram observados pontos críticos em 13 PVs (PV23, PV24, PV25, PV26, PV27, PV28, PV29, PV30, PV32, PV34, PV39, PV40 e PV49). Já no pior resultado (Figura 23), com PR de 10 anos e parâmetro R de 10%, 21 PVs (PV23, PV24, PV25, PV26, PV27, PV28, PV29, PV30, PV31, PV32, PV33, PV34, PV36, PV37, PV38, PV39, PV40, PV41, PV42, PV43 e PV49) apresentaram estado crítico. Nas figuras abaixo, da Figura 21 até a Figura 23, são apresentadas as vazões máximas dos PVs em estado crítico em todas as simulações do Cenário 4.

Figura 21 - Cenário 4: PR de 2 anos e infiltrações de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.



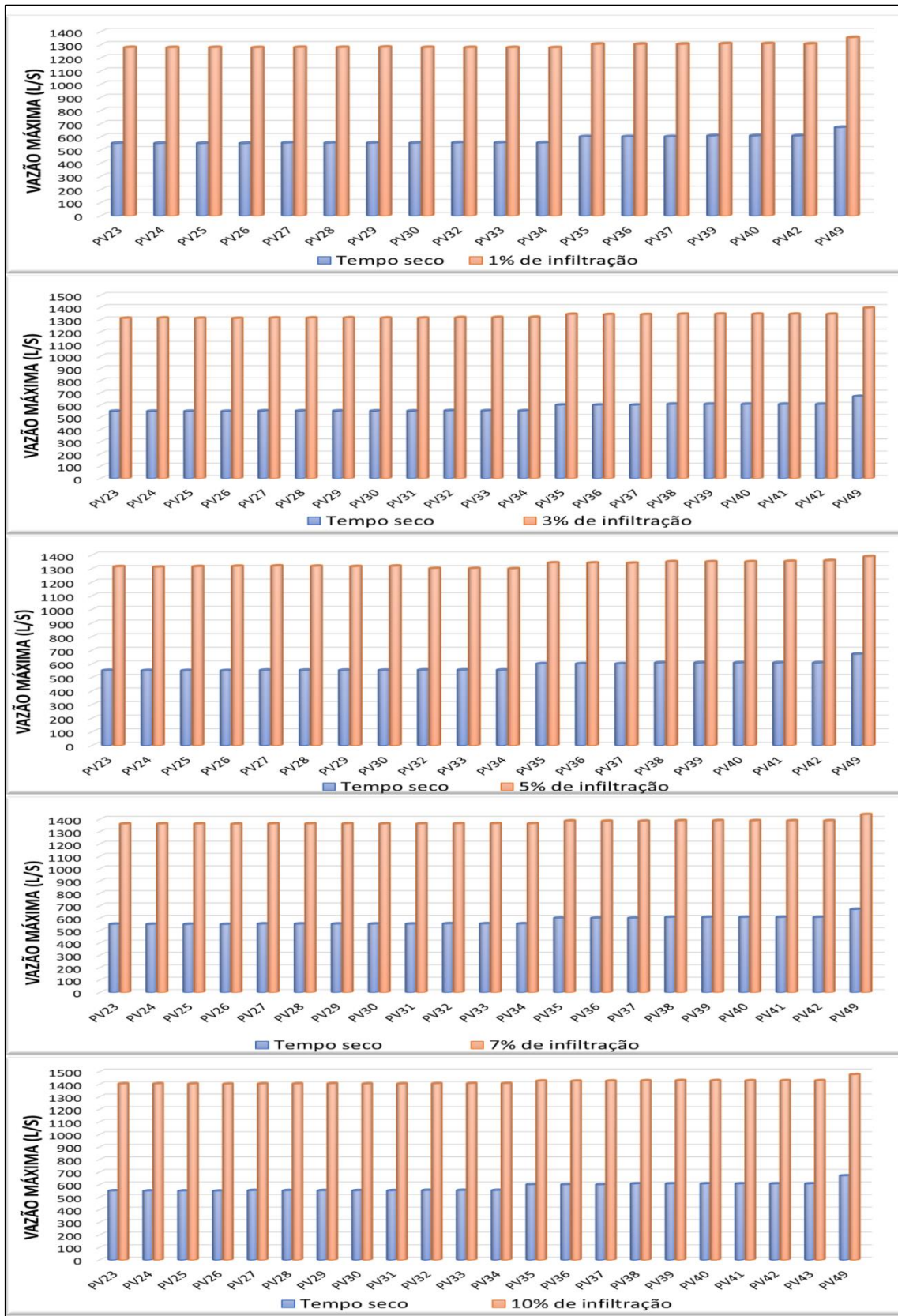
Autor: 2023

Figura 22 - Cenário 4: PR de 5 anos e infiltrações de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.



Fonte: Autor, 2023

Figura 23 – Cenário 4: PR de 10 anos e infiltrações de 1%, 3%, 5%, 7% e 10%.



Fonte: Autor, 2023

Ao analisar os resultados das simulações, foi possível notar que os PVs mais próximos do final da linha de recalque da EEE Praia do Futuro II possuem uma maior tendência a extravasarem, levando em consideração que, dentre os PVs que apresentaram estado crítico, a maioria estava situada na parte inicial do trecho do IL analisado neste trabalho. Isso pode ser explicado pelo fato desses PVs estarem situados próximos da zona de transição entre conduto forçado (linha de recalque) e conduto livre (IL).

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados deste trabalho foi possível analisar a influência da infiltração de águas pluviais no trecho estudado do Interceptor Leste da rede esgotamento sanitário de Fortaleza, Ceará. Ao avaliar a variação do comportamento hidráulico da rede em condições de tempo seco e chuvoso, não foram identificadas extravasões, mas foram constatados pontos críticos.

Foi constatado que os PVs mais próximos do final da linha de recalque da EEE Praia do Futuro II estão mais propensos a extravasarem. No trabalho realizado por (BARBOSA FERNANDES, 2017), que teve como objetivo realizar simulações hidráulicas para avaliar a interferência da chuva e de sedimentos no IL, foi constatada uma tendência similar, onde o trecho inicial do IL apresentou um maior número de pontos de extravasamento.

Após a modelagem hidráulica dos diferentes cenários, não foram observados pontos críticos nos cenários 1 e 2. Entretanto, foram identificados em todas as simulações dos cenários 3 e 4. No Cenário 3, no melhor resultado, foram observados pontos críticos em 10 PVs. e no pior resultado em 20 PVs. Já no Cenário 4, no melhor resultado, foram observados pontos críticos em 13 PVs e, no pior resultado, 21 PVs apresentaram estado crítico.

Embora não tenha havido extravasão nos PVs do trecho analisado, sabe-se que, na realidade, ocorrem extravasamentos em alguns pontos do IL durante períodos de chuvas intensas. A não ocorrência de entramento pode ser explicado pelo fato de não terem sido consideradas todas as sub-bacais da Vertente Marítima nas simulações.

Para mitigar os transtornos decorrentes das chuvas, podem ser adotadas medidas preventivas, como limpezas suplementares de redes, elevatórias e estações de tratamento, a fim de remover a areia e o lixo trazidos pelas águas das chuvas. Além disso, a conscientização da população em não jogar lixo na rede de esgoto e não realizar ligações irregulares é de extrema importância para o bom funcionamento do sistema de esgotamento sanitário.

Para lidar com esses pontos críticos, outras medidas podem ser adotadas:

➤ **Análise detalhada:** Realizar uma análise mais aprofundada desses trechos de tubulação identificados como pontos críticos. Isso pode envolver inspeções visuais, testes não destrutivos, análises estruturais ou simulações computacionais mais precisas para entender melhor a natureza e a extensão do problema.

➤ **Reforço da tubulação:** Com base na análise detalhada, pode ser necessário considerar o reforço desses trechos de tubulação. Isso pode ser feito por meio de medidas como o aumento da espessura da parede da tubulação, o uso de materiais mais resistentes, a instalação de suportes adicionais ou a introdução de medidas estruturais para aliviar as tensões.

➤ **Monitoramento contínuo:** Estabelecer um programa de monitoramento contínuo para acompanhar a evolução desses pontos críticos ao longo do tempo. Isso pode envolver a instalação de sensores para medir a pressão, temperatura, fluxo ou outros parâmetros relevantes, a fim de detectar quaisquer mudanças que possam indicar um aumento no risco de falha.

➤ **Manutenção e reparo adequados:** Garantir que haja um programa de manutenção adequado em vigor para garantir que esses pontos críticos sejam regularmente inspecionados e reparados, se necessário. Isso pode envolver atividades como limpeza, reparo de danos, substituição de componentes desgastados ou implementação de medidas corretivas identificadas durante a análise.

➤ **Simulações:** Realizar outras modelagens considerando a contribuição pluvial parasitária de outras sub-bacias da Vertente Marítima.

É importante considerar que essas medidas devem ser adaptadas às características específicas do sistema de tubulação, levando em consideração as normas e regulamentos aplicáveis, bem como as melhores práticas do mercado.

REFERÊNCIAS

- A HTIF, K.; K NILE, ; ALI MOHAMMED,. Mitigating the Volume of Inflow and Infiltration Entering the Sewage Network during the Storm of the Trunk Sewage Line (A Case Study in Karbala-Iraq). **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, Kerbela, 2021.
- A. ROSSMAN , ; A. SIMON, M. **Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2**. [S.l.]: [s.n.], 2022.
- A. ROSSMAN,. **Manual e Programa do SWWM - Modelo de Gestão de Drenagem Urbana**. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 280. 2010.
- ABNT. **NBR 9648 : Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro. 1986.
- ALEJANDRO-SÁNCHEZ, L.; MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, Y. Sensibilidad y regionalización del parámetro de impermeabilidad en una cuenca urbana. **SciELO**, v. 4, Jan./Mar. 2013. ISSN 2007-2422.
- ALMEIDA DE SÁ MARQUES, ; DE OLIVEIRA SOUSA,. **Hidráulica Urbana: Sistemas de abastecimento de água e de drenagem de águas residuais**. 2°. ed. [S.l.]: [s.n.], 2009.
- ALVES NUNES, G. Sistema de esgotamento sanitário: Estudo de contribuição de águas pluviais no sistema de esgotamento do Bairro Madri , Palhoça, 2018.
- AZEVEDO NETTO, J. M. D. Contribuições indevidas para a rede de esgotos. **DAE**, n. 120, 1979.
- BARBOSA FERNANDES, L. Modelagem hidráulica do interceptor leste de Fortaleza utilizando o SWMM, Fortaleza, 2017.
- BARCELOS PIRES, F. M. Sistema de esgoto sanitário - Estudo de caso: Maré, Rio de Janeiro, Março 2018.
- BENTLEY. **Bentley**, 2023. Disponível em:
<<https://docs.bentley.com/LiveContent/web/Bentley%20SewerGEMS%20SS5-v2/en/GUID-EE4EA18F-F9CE-43C7-93E5-906EEF8A0FC9.html>>. Acesso em: 15 Março 2023.
- BENTLEY SYSTEMS. **SewerCAD: A Powerful Tool for Effortless Sewer Design and Rehabilitation**. [S.l.], p. 2. 2014.
- CHEN, V. et al. Development and modelling of realistic retrofitted Nature-based Solution scenarios to reduce flood occurrence at the catchment scale. **Springer**, 05 March 2021.
- DAMASCENO PAVANI, et al. Allocation of sanitary landfill in consortium: strategy. **Springer Nature Switzerland**, p. 13, Dezembro 2018.

- DE BARROS BÁGGIO, C. **Comparativo entre a metodologia de inspeção e estratégia de remediação de rede coletora de esgotos da Alemanha e do Brasil.** Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 171. 2014.
- DHI. **Guide to existing MIKE URBAN Users.** [S.l.], p. 43. 2020.
- DUARTE ARASHIRO, K. Uso de modelo hidráulico para simular as condições operacionais do sistema de interceptação de esgoto da região metropolitana de São Paulo, São Paulo, 2017. 5.
- EPA. **2004 Connecticut Stormwater Quality Manual.** [S.l.]: [s.n.], 2004. 150 p.
- FEAM. **Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios.** 3. ed. Belo Horizonte: SIGMA LTDA, 2002.
- FLORES SILVA DOS SANTOS, et al. O desenvolvimento do saneamento básico no Brasil e as consequências para a saúde pública. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 4, 2018. ISSN 2595-4431.
- FORTALEZA. Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza Convênio de Cooperação Técnica Entre Companhia Água e Esgoto do Ceará – CAGECE e Agência Reguladora de Fortaleza - ACFOR. Fortaleza: [s.n.], 2014. p. 280.
- FRIGO MIGLIORINI, F. Dimensionamento de um sistema de esgotamento sanitário na microbacia do Arroio Barracão, Município de Guaporé - RS, Lajeado/RJ, 2019.
- FUNASA. **Manual de Saneamento.** 5º. ed. [S.l.]: [s.n.], 2019.
- G.O., A. et al. Unit Hydrograph: Concepts, Estimation Methods and Applications in Hydrological Sciences. **IJESC**, 2020. 8.
- GOMES CASTELO BRANCO, K. **Microclimas e áreas verdes na cidade de Fortaleza - CE.** Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 213. 2014.
- HUSSAIN, E.; ALI, M. S.; AHMED, S. I. Modeling the effects of rainfall on vehicular traffic. **Springer**, 15 January 2018.
- IBGE. **Atlas de saneamento: abastecimento de água e esgotamento sanitário.** 3. ed. Rio de Janeiro: [s.n.], 2021. 195 p. ISBN 978-65-87201-94-8.
- IPECE. **Perfil municipal - 2017 - Fortaleza.** Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. [S.l.], p. 18. 2017.
- J. BRANDT, M. et al. **Twort's Water Supply.** 7º. ed. [S.l.]: Elsevier Ltd, 2017.
- KAYKHOSRAVI, S.; T.KHAN, U.; A.JADIDI,. A simplified geospatial model to rank LID solutions for urban runoff management. **ELSEVIER**, v. 831, 20 July 2022. ISSN 154937.
- MESQUITA, J. Modelagem da drenagem urbana e avaliação das cargas bacteriológicas na vertente marítima de fortaleza, ceará, Fortaleza, 2018. 102.
- PCSWMM. PCSWMM Applications, 2023. Disponível em: <<https://www.pcswmm.com/Applications>>. Acesso em: 27 Jun. 2023.

PERRONE PINHEIRO, F. A.; FERREIRA SAVOIA, J. R.; FELISONI DE ANGELO,. Análise Comparativa da Atuação de Prestadores de Serviços de Saneamento Públicos e Privados no Brasil. **Brazilian Business Review**, Vitória, v. 13, p. 118 - 140 , Fevereiro 2016. ISSN 1807-734X.

PORTO PEREIRA, et al. Modelagem do macrossistema de coleta de esgotos de Fortaleza-CE. **DAE**, São Paulo, v. 69, p. 13, 2021.

PREFEITURA DE FLORIONÓPOLIS. Estudo de concepção do esgotamento sanitário de Florianópolis, Florianópolis, 2019.

REBOUÇAS DOS SANTOS, Q. Avaliação da influência da precipitação na rede de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto - Feira de Santana - BA, Feira de Santana, Outubro 2013.

ROCHA MARTINS, G. Plano de Combate às contribuições pluviais parasitárias no sistema de esgoto do município de São José do Rio Preto/SP, São José do Rio Preto/SP, 2018.

ROSENBERGER, L. et al. Sustainable stormwater management under the impact of climate change and urban densification. **ELSEVIER**, v. 596, May 2021. ISSN 126137.

S. BALLARIN, A.; C. WENDLAND, E.; A. A. ANACHE, J. ANÁLISE DA CARACTERIZAÇÃO DE EVENTOS HIDROLÓGICOS EXTREMOS PARA A REGIÃO DE SÃO CARLOS - SP. **XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Foz do Iguaçu, p. 10, Novembro 2019.

SÁ MARQUES, A. et al. **Hidrologia urbana – Sistemas de drenagem de águas pluviais urbanas**. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos. ed. Lisboa: Seleprinter – Sociedade Gráfica, Lda., 2013.

SANTOS ARAÚJO, A.; LEITE COSTA, M. E.; KOIDE, S. Análise e proposição de medidas sustentáveis em drenagem urbana na região do Lago Norte/DF por meio de modelagem hidrológica-hidráulica. **ABRHidro**, Foz do Igauçu, Novembro 2019.

SOUSA ANCHIETA, F. A. Modelagem da Influência da Drenagem das Águas Pluviais da Bacia do Riacho Maceió no Macrossistema de Esgotamento Sanitário de Fortaleza, Ceará, Crateús, 2022. 66.

SUCHOWSKA-KISIELEWICZ, ; NOWOGOŃSKI ,. Influence of storms on the emission of pollutants from sewage into waters, 22 Setembro 2021. 14.

SYED AZIZUL HAQ,. **Harvesting Rainwater from Buildings**. 1º. ed. [S.l.]: Springer, 2017. ISBN 978-3-319-46362-9.

TOMOYUKI TSUTYA, M.; ALÉM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte de esgoto**. 3. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Ambiental e Sanitária, 2011. 548 p.

VANDERLEI FESTI, A. Águas de chuva na rede de esgoto sanitário - Suas origens, interferências e consequências, Ibitinga, 2004.

WEF. Sanitary Sewer Systems: Rainfall Derived Infiltration and Inflow (RDII) Modeling, 2017. 5.

YAN, X. et al. A Rapid Prediction Model of Urban Flood Inundation in a High-Risk Area Coupling Machine Learning and Numerical Simulation Approaches. **Springer**, 20 December 2021.

ZELEĚÁKOVÁ, et al. **Rainwater Management in Compliance with Sustainable Design of Buildings**. [S.l.]: ELSEVIER. 2014. p. 1515-1521.

ZHANG, K.; J. PAROLARI, A. Impact of stormwater infiltration on rainfall-derived inflow and infiltration: A physically based surface–subsurface urban hydrologic model, 610, Julho 2022.

ANEXO A – TERMO DE AUTORIZAÇÃO

Av. Dr. Lauro Vieira Chaves, 1030 - Vila União
CEP: 60422-901 • Fortaleza / CE
CNPJ: 07.040.108/0001-57



TERMO DE AUTORIZAÇÃO

A Companhia de Água e Esgoto do Ceará – Cagece, sociedade de economia mista inscrita no CNPJ sob o número 73.759.185/0001-96, com sede na av. Doutor Lauro Vieira Chaves, nº 1030 – Vila União, Fortaleza/CE, CEP 60.422-901, por meio da sua Gerência de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação, representada pela gerente Cailiny Darley de Menezes Medeiros, vem, neste ato, considerando:

1. o Convênio de Receita para pesquisa voltada ao desenvolvimento de tecnologia entre a FUNCAP e a Cagece, publicado em DOE em 01/12/2020 (Extrato de Convênio 01/2020), que estabelece condições para que a Funcap selecione e apoie pesquisa científica e tecnológica cooperativa, a ser desenvolvida no Estado do Ceará, por pesquisadores vinculados a Instituições de Ensino Superior (IES) e/ou Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICT) ou por empresas, públicas ou privadas, selecionados mediante Chamada de Proposta de Pesquisa, com aporte de recursos da Cagece e Funcap, no valor total de R\$ 4.000.000,00 (quatro milhões de reais), sendo R\$ 3.000.000,00 com recursos próprios da Cagece e o restante pela FUNCAP;
2. que a pesquisa “Modelagem integrada da rede coletora de esgoto e da drenagem urbana de Fortaleza-ce”, coordenada pelo Prof. Iran Eduardo Lima Neto foi selecionada mediante a Chamada de Proposta de Pesquisa;
3. as disposições acerca das confidencialidades previstas na cláusula 5ª (quinta) do referido Convênio;
4. a previsão de sigilo expressa no Termo de Concessão assinado pelo coordenador da referida pesquisa, a ser estendido a toda equipe envolvida no projeto de pesquisa;
5. que a realização do trabalho envolve equipe composta por professores e alunos de cursos de graduação e pós-graduação;
6. que o Trabalho de Conclusão do Curso – TCC com o tema **MODELAGEM DA INFLUÊNCIA DA INFILTRAÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS EM UM TRECHO DO INTERCEPTOR LESTE DE ESGOTO DA ZONA COSTEIRA DE FORTALEZA, CEARÁ** do aluno JOSÉ WELLINGTON OLIVEIRA ARAÚJO, orientado pela Profa. Janine Brandão de Farias Mesquita, adotou informações cedidas pela Cagece;
7. que o coordenador informou não haver previsão de propriedade intelectual na referida pesquisa;
8. que o TCC foi analisado(a) pela equipe da Cagece e sua redação acatada;

Autorizamos a publicação do Trabalho de Conclusão de Curso referenciado no item 6 (seis) do presente Termo de Autorização, conforme preceitua a cláusula 5 (quinta) do Convênio de Receita firmado entre a Funcap e a Cagece.

Fortaleza, 13 de setembro de 2023

Documento assinado digitalmente
CAILINY DARLEY DE MENEZES MEDEIROS
Data: 13/09/2023 14:17:19-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Cailiny Darley de M. Medeiros

Gerente de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação - GEPED

