



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Priscila Batista de Campos

**AVALIAÇÃO DAS ÁGUAS INDEVIDAS EM SISTEMA DE ESGOTO: ESTUDO DE
CASO EM REGIÃO LITORÂNEA**

Florianópolis
2025

Priscila Batista de Campos

**AVALIAÇÃO DAS ÁGUAS INDEVIDAS EM SISTEMA DE ESGOTO: ESTUDO DE
CASO EM REGIÃO LITORÂNEA**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Ambiental, na linha de pesquisa: Hidrologia, Hidrodinâmica e Recursos Hídricos. Tema: Interferência da drenagem urbana em sistemas de esgoto/drenagem.

Orientadora: Prof. Dra. Alexandra Rodrigues Finotti

Florianópolis

2025

de Campos, Priscila Batista

Avaliação das águas indevidas em sistema de esgoto:
estudo de caso em região litorânea / Priscila Batista de
Campos ; orientador, Alexandra Rodrigues Finotti, 2025.
119 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Infiltração. 3. Afluxo. 4.
Sistema de esgoto. I. Finotti, Alexandra Rodrigues. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Ambiental. III. Título.

Priscila Batista de Campos

**Avaliação das águas indevidas em sistema de esgoto: estudo de caso em região
litorânea**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 26 de setembro de 2025, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Pablo Heleno Sezerino, Dr.
Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Iran Eduardo Lima Neto, Dr.
Instituição Universidade Federal do Ceará

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestra em Engenharia Ambiental.



Documento assinado digitalmente

ALEXANDRA RODRIGUES FINOTTI

Data: 17/12/2025 15:05:19-0300

CPF: ***.114.321-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Coordenação do Programa de Pós-Graduação



Documento assinado digitalmente

ALEXANDRA RODRIGUES FINOTTI

Data: 17/12/2025 15:06:13-0300

CPF: ***.114.321-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Profa. Alexandra Rodrigues Finotti, Dra.
Orientadora

Florianópolis, 2025.

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo apoio incondicional de sempre, e ao meu filho que está a caminho, por ter me impulsionado a concluir esta etapa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço por todo cuidado, preocupação e amor da minha família e ao meu amor, Felipe, por todo suporte emocional que me permitiu concluir essa jornada e por estar sempre ao meu lado, inclusive nas madrugadas de coleta de amostras.

Agradeço a professora Alexandra pelo incentivo e orientação, a toda equipe do LAUTEC, equipe do projeto Lagoa, as bolsistas Vitória e Gabriela, e em especial a Saman e Paula, por todas nossas trocas, apoio e inspiração para concluir esta pesquisa.

Por fim, agradeço pelo apoio financeiro da FAPESC e CASAN, que também disponibilizou dados essenciais para o desenvolvimento da pesquisa, juntamente com a EPAGRI.

*“Que nada nos defina, que nada nos sujeite.
Que a liberdade seja a nossa própria substância, já que viver é ser livre.”*

Simone de Beauvoir

RESUMO

Os sistemas de esgotamento sanitário brasileiros são concebidos como separador absoluto, no qual as águas pluviais devem ser coletadas de forma independente da rede de esgoto. Entretanto, a prática demonstra que infiltrações subterrâneas e afluxos decorrentes da precipitação frequentemente comprometem a eficiência desses sistemas, ocasionando sobrecargas, extravasamentos e riscos à saúde pública e ao meio ambiente. Este trabalho teve como objetivo analisar em detalhe a influência das águas indevidas em um sistema de esgoto localizado em região litorânea, tomando como estudo de caso o Sistema de Esgotamento Sanitário da Lagoa da Conceição, em Florianópolis. A metodologia baseou-se na instalação de macromedidores de vazão em duas estações elevatórias de esgoto de dois subsistemas da Lagoa da Conceição, no monitoramento de dados de precipitação e na aplicação de métodos para a quantificação da infiltração, por meio das vazões mínimas noturnas e do afluxo devido à precipitação, a partir da comparação entre períodos secos e chuvosos. O monitoramento realizado ao longo de aproximadamente 12 meses possibilitou identificar a magnitude das parcelas de contribuição indevida e avaliar a resposta do sistema aos diferentes eventos de precipitação e de tempo seco. Os resultados apontaram coeficientes de infiltração que variaram entre 0,26 e 0,43 L/s.km, valores representativos de uma contribuição constante e relevante para a sobrecarga da rede. Em relação à infiltração e afluxo devido à precipitação, os coeficientes variaram de 0,04 a 0,74 L/s.km de contribuição e verificou-se que chuvas em torno de 11 mm já provocam acréscimos de 24% de vazão, enquanto eventos extremos, como a precipitação de 66,6 mm em 24 horas, resultaram em aumentos de até 78% da vazão média de tempo seco, evidenciando elevado risco de sobrecarga e extravasamentos. Observou-se ainda que os efeitos do afluxo persistiram por até 6 dias após o evento chuvoso, caracterizando afluxo tardio em ambos subsistemas. As metodologias de vazões mínimas noturnas e diferença de volumes bombeados em tempo seco e chuvoso, se mostraram adequadas para determinação das parcelas de infiltração de águas subterrâneas e infiltração e afluxo devido à precipitação, respectivamente. Do ponto de vista prático, os resultados forneceram subsídios técnicos para o planejamento e a operação do sistema de esgoto, contribuindo para a redução de falhas e a melhoria da eficiência operacional. No campo acadêmico, ampliou-se a compreensão sobre infiltração e afluxo em redes coletoras de regiões litorâneas e permitiu a validação de metodologias aplicáveis em campo, passíveis de replicação por companhias de saneamento. Conclui-se que as águas indevidas representam fator determinante para o desempenho do sistema da Lagoa da Conceição e que sua quantificação é essencial para o aprimoramento da gestão do saneamento em regiões costeiras.

Palavras-chave: Sistema de esgotamento sanitário. Infiltração. Afluxo devido à precipitação. Águas indevidas. Sobrecarga.

ABSTRACT

Brazilian sewer systems are designed as fully separate systems, wherein stormwater is collected independently of the sewage system. However, in practice, groundwater infiltration and rainfall-derived inflow and infiltration (RDII) often compromise the efficiency of these systems, leading to overloads, overflows, and risks to public health and the environment. This study aimed to analyze in detail the influence of extraneous water in a sewer system located in a coastal region, using the Lagoa da Conceição sewer system in Florianópolis as a case study. The methodology involved installing flow meters at two sewage pumping stations (one in each of two subsystems of the Lagoa da Conceição system), monitoring rainfall data, and applying methods to quantify infiltration and inflow. Infiltration was quantified using minimum nightly flows, and rainfall-derived inflow and infiltration was determined by comparing data from dry and rainy periods. Monitoring over approximately 12 months enabled the identification of the magnitude of extraneous contributions and an evaluation of the system's response to different rainfall events and dry-weather periods. The results indicated infiltration coefficients ranging from 0.26 to 0.43 L/s per km. These values represent a constant and significant contribution to overloading of the network. With respect to rainfall-derived inflow and infiltration, the coefficients obtained were between 0.04 to 0.74 L/s per km, and around 11 mm of rainfall can lead to a 24% increase in flow. Extreme events, such as 66.6 mm in 24 hours, resulted in increases of up to 78% of the average dry-weather flow, demonstrating a high risk of overloading and overflows. It was also observed that the effects of inflow persisted for up to 6 days after the rainfall event, indicating delayed inflow in both subsystems. The minimum nightly flow method, and the comparison of pumped volumes in dry and wet weather, proved to be suitable for determining the contributions of groundwater infiltration and rainfall-derived infiltration and inflow, respectively. From a practical perspective, the results provided technical support for planning and operating the sewer system, helping reduce failures and improve operational efficiency. From an academic perspective, the study broadened understanding of infiltration and inflow in coastal sewer networks and enabled the validation of field-applicable methodologies that can be replicated by sanitation companies. It is concluded that extraneous water is a determining factor in the performance of the Lagoa da Conceição system, and that its quantification is essential for improving sanitation management in coastal regions.

Keywords: Sanitary sewer system. Infiltration. Rainfall-derived inflow. Extraneous water. Hydraulic overload.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vazões típicas horárias de contribuição de esgoto ao longo do dia.	22
Figura 2- Tipos de sistema de esgoto.	23
Figura 3 - Fontes de origem de infiltração e afluxo devido à precipitação na rede de esgoto	24
Figura 4 – Esquema representativo dos tipos de águas indevidas: afluxo e infiltração devido à precipitação e infiltração de águas subterrâneas.....	25
Figura 5 - Tipos de afluxos devido à precipitação em rede de esgoto.	29
Figura 6 - Produção científica sobre infiltração e afluxo à rede coletora de esgoto nos últimos 50 anos.	41
Figura 7 - Total de artigos produzidos por países que mais publicaram.	42
Figura 8 - Fluxograma metodológico.....	43
Figura 9 - Área de abrangência do SES Lagoa da Conceição, subsistemas avaliados, localização dos medidores de vazão, da estação pluviométrica, ETE e poços de monitoramento	44
Figura 10 - Sub bacias hidrográficas e bacias de esgoto do SES Lagoa da Conceição.	44
Figura 11 – Relevo da área de estudo.	46
Figura 12 – Características do solo da área de estudo.	47
Figura 13 - Fluxograma do SES Lagoa da Conceição em operação.	47
Figura 14 - Localização da ETE Lagoa da Conceição e disposição final do efluente tratado.	48
Figura 15 - Normal climatológica Estação Florianópolis para os períodos de 1931 a 1960, 1961 a 1990 e 1991 a 2020.....	49
Figura 16 - Localização da estação de monitoramento de precipitação (EPAGRI-CIRAM).....	50
Figura 17 - Esquema de funcionamento de medidor de vazão eletromagnético.....	52
Figura 18 - Esquema de construção de um medidor de vazão eletromagnético.....	52
Figura 19- Estação Elevatória da Ponte (a), instalação do medidor na linha de recalque (b) e caixa metálica de proteção do macromedidor (c).	53
Figura 20 - Estação Elevatória das Rendeiras (EE-B02) (a) e caixa do painel de leitura do macromedidor (b)	54

Figura 21 - Sistema supervisorio da CASAN com informações das vazões dos macromedidores em tempo real.....	55
Figura 22 - Perfil dos poços de monitoramento da CASAN utilizados para coleta de águas subterrâneas.....	59
Figura 23 - Precipitações mensais de 2021 a 2024.	62
Figura 24 - Normal climatológica de precipitação do INMET em comparação com os dados de precipitação acumulada da estação da EPAGRI no período da pesquisa (setembro de 2023 a setembro de 2024).	64
Figura 25 - Normal provisória de precipitação e temperatura (2002 a 2024) em comparação com os dados do período da pesquisa (setembro de 2023 a setembro de 2024).	64
Figura 26 - Classificação diária de acordo com o total precipitado.	65
Figura 27 - Gráfico de vazões medidas (em azul) e nível dos poços de sucção (em vermelho) da elevatória EE-Ponte.....	67
Figura 28 - Gráfico de vazões medidas (em azul) e nível dos poços de sucção (em vermelho) da elevatória EE- Rendeiras.....	68
Figura 29 - Vazão média horária de tempo seco por dia da semana - Subsistema Ponte.....	69
Figura 30 - Vazão média horária de tempo seco por dia da semana - Subsistema Rendeiras.....	70
Figura 31 - vazão média horária de tempo seco - Subsistema Ponte.....	70
Figura 32 - Vazão média horária de tempo seco - Subsistema Rendeiras.	71
Figura 33 – Volume diário de esgoto produzido, volume médio de esgoto de tempo seco por estação do ano e precipitação diária equivalente – EE-Rendeiras.....	75
Figura 34 - Volume diário de esgoto produzido, volume médio de esgoto de tempo seco por estação do ano e precipitação diária equivalente – EE-Ponte.....	76
Figura 35 - Vazões médias horárias ao longo de 24h dos dias de campanhas para análise da infiltração de água subterrânea.....	78
Figura 36 - Concentrações horárias de esgoto (DQO) nos dias de campanhas para análise da infiltração de água subterrânea.....	79
Figura 37 - Precipitação diária e correspondente infiltração e afluxo devido à precipitação nos dias chuvosos significativos do subsistema Ponte, com indicação de número de dias anteriores sem chuva.	86

Figura 38 - Precipitação diária e correspondente infiltração e afluxo devido à precipitação nos dias chuvosos significativos do subsistema Rendeiras, com indicação de número de dias anteriores sem chuva.	87
Figura 39 - Relação entre precipitação diária e IADP em todos os eventos chuvosos significativos do subsistema Ponte.....	88
Figura 40 - Relação entre precipitação diária e IADP em todos os eventos chuvosos significativos do subsistema Rendeiras.....	89
Figura 41 - Relação entre precipitação diária e IADP em evento chuvoso após 1 dia sem chuva.....	90
Figura 42 - Relação entre precipitação diária e IADP em evento chuvoso após 2 dias sem chuva.....	90
Figura 43 - Relação entre precipitação diária e IADP em evento chuvoso após 3 dias sem chuva.....	90
Figura 44 - Relação entre precipitação diária e IADP em evento chuvoso após 4 dias sem chuva.....	90
Figura 45 - Relação entre precipitação diária e IADP em evento chuvoso após 5 dias sem chuva.....	91
Figura 46 - Relação entre precipitação diária e IADP em evento chuvoso após 6 dias sem chuva.....	91
Figura 47 - Relação entre precipitação diária e IADP em evento chuvoso após 7 dias sem chuva.....	91
Figura 48 - Relação entre precipitação diária e IADP em evento chuvoso após 8 dias sem chuva.....	91
Figura 41 – EE-Rendeiras - Análise mensal da infiltração e afluxo devido à precipitação acumulada dos últimos 6 dias antes dos eventos chuvosos significativos em comparação com a precipitação total acumulada dos mesmos 6 dias antes dos eventos.....	93
Figura 42 - EE-Ponte - Análise mensal da infiltração e afluxo devido à precipitação acumulada dos últimos 6 dias antes dos eventos chuvosos significativos em comparação com a precipitação total acumulada dos mesmos 6 dias antes dos eventos.....	93
Figura 43 - Relação entre precipitação mensal acumulada e IADP acumulado dos últimos 6 dias antes de todos os eventos chuvosos significativos.	94

Figura 52 - Vazão e precipitação horária ao longo de 24 horas nos 2 subsistemas em 28/10/23, com P=43,2 mm.	95
Figura 53 – Vazão e precipitação horária ao longo de 24 horas nos 2 subsistemas em 25/02/24, com P=34,6 mm.	95
Figura 54 - Vazão e precipitação horária ao longo de 24 horas nos 2 subsistemas em 25/04/24, com P=20,0 mm.	95
Figura 55 - Vazão e precipitação horária ao longo de 24 horas nos 2 subsistemas em 05/04/24, com P=18,4 mm.	95
Figura 56 - Vazão e precipitação horária ao longo de 24 horas nos 2 subsistemas em 24/06/24, com P=66,6 mm.	96
Figura 57 - Vazão e precipitação horária ao longo de 24 horas nos 2 subsistemas em 17/06/24, com P=10,2 mm.	96
Figura 58 - Vazão e precipitação horária ao longo de 24 horas nos 2 subsistemas em 29/07/24, com P=11,4 mm.	96
Figura 59 - Vazão e precipitação horária ao longo de 24 horas nos 2 subsistemas em 08/07/24, com P=37,6 mm.	96
Figura 60 – Volume horário de IADP no evento de 28/10/23 (P=43,2mm) e nos dois dias seguintes.	100
Figura 61 – Volume horário de IADP no evento de 25/02/24 (P=34,6 mm) e nos dois dias seguintes.	101
Figura 62 — Volume horário de IADP no evento de 05/04/24 (P=18,4 mm) e nos dois dias seguintes.	101
Figura 63 — Volume horário de IADP no evento de 25/04/24 (P=20,0 mm) e nos dois dias seguintes.	102
Figura 64 — Volume horário de IADP no evento de 17/06/24 (P=10,2 mm) e nos dois dias seguintes.	102
Figura 65 — Volume horário de IADP no evento de 24/06/24 (P=66,6 mm) e nos dois dias seguintes.	103
Figura 66 - Volume horário de IADP no evento de 06/07/24 (P=37,6 mm) e nos dois dias seguintes.	103
Figura 67 - Volume horário de IADP no evento de 29/07/24 (P=11,4 mm) e nos dois dias seguintes.	104

Figura 68 - Volumes diários bombeados e respectivos IADP e precipitação acumulada nos eventos da EE-Ponte.....	105
Figura 69 - Volumes diários bombeados e respectivos IADP e precipitação acumulada nos eventos da EE-Rendeiras.....	106
Figura 70 - Volume de IADP em relação à altura pluviométrica dos dois subsistemas.	107
Figura 71 - Fluxograma de atuação da fiscalização do Programa Trato pela Lagoa.	110
Figura 72 - Percentual de irregularidades encontradas nas fiscalizações dos imóveis do SES Lagoa da Conceição.	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Taxas de infiltração de águas subterrâneas de acordo com diversos autores.	26
Tabela 2 - Taxa de Contribuição de Infiltração e Afluxo Devido à Precipitação (IADP) em sistemas brasileiros.	30
Tabela 3 - Principais trabalhos relacionados ao tema IADP.	40
Tabela 4 - Precipitação total acumulada mensalmente nos últimos 4 anos – estação da EPAGRI – CETRE – Itacorubi.	61
Tabela 5 - Meses descartados após dados filtrados para a análise de normal climatológica provisória do período de 2002 a 2024 do pluviômetro da EPAGRI, localizado no bairro Itacorubi, em Florianópolis.	63
Tabela 6 - Eventos de tempo seco no período avaliado.	66
Tabela 7 - Precipitação no período antecedente à amostragem para caracterização da DQO de tempo seco.	77
Tabela 8 - Concentrações de DQO dos poços de monitoramento de águas subterrâneas.	81
Tabela 9 - Resultados das campanhas de medição de águas subterrâneas realizadas no ano de 2024.	82
Tabela 10 - Comparação dos coeficientes de infiltração de água subterrânea com outros trabalhos.	82
Tabela 11 - Eventos chuvosos significativos e respectivos volumes diários de IADP.	84
Tabela 12 – Eventos selecionados para análise de IADP em dia chuvoso significativo após 6 dias sem chuva.	97
Tabela 13 – Taxas de IADP por evento selecionado para os dois subsistemas.	108
Tabela 14 - Comparação dos valores obtidos de IADP para esta pesquisa com outros trabalhos.	108

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADP	Afluxo Devido à Precipitação Pluviométrica
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CIRAM	Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina
DES	Departamento de Esgotos Sanitários
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EE	Estação Elevatória de Esgoto
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FEESC	Fundação de Ensino e Engenharia de Santa Catarina
IADP	Infiltração e Afluxo Devido à Precipitação Pluviométrica
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
LAUTEC	Laboratório de Águas Pluviais Urbanas e Técnicas Compensatórias
LEI	Lagoa de evapoinfiltração
LIMA	Laboratório Integrado de Meio Ambiente
NBR	Norma brasileira
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
P	Precipitação
PID	Controlador Proporcional Integrativo e Derivativo
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
UASB	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	OBJETIVOS.....	21
1.1.1	Objetivo geral.....	21
1.1.2	Objetivos específicos	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	COMPORTAMENTO DE UM SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO	21
2.1.1	Águas de Infiltração.....	24
2.1.2	Infiltração de Águas Subterrâneas	25
2.1.3	Infiltração e Afluxo devido à Precipitação Pluviométrica (IADP).....	28
2.2	IMPACTOS DAS ÁGUAS INDEVIDAS EM REDE DE ESGOTO.....	30
2.2.1	Métodos para medição de IADP	32
2.3	ESTADO DA ARTE SOBRE MEDIÇÃO DE INFILTRAÇÃO E AFLUXO	33
3	METODOLOGIA.....	42
3.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	43
3.1.1	CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	48
3.2	COLETA DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO	49
3.2.1	SELEÇÃO DOS EVENTOS.....	51
3.3	MONITORAMENTO DA VAZÃO DE ESGOTO	51
3.4	DETERMINAÇÃO DA PARCELA DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	55
3.4.1	Amostragem para caracterização da DQO do Esgoto	57
3.4.2	Amostragem para caracterização da DQO da Infiltração	58
3.5	DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO E AFLUXO DEVIDO À PRECIPITAÇÃO (IADP)	60
4	RESULTADOS	60
4.1	COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO.....	61
4.2	CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS	65
4.3	OBTENÇÃO DOS DADOS DE VAZÃO DE ESGOTO	67
4.4	COMPORTAMENTO DO SISTEMA DE ESGOTO EM TEMPO SECO.....	68
4.5	VAZÕES DE PROJETO DO SISTEMA DE ESGOTO	71
4.6	COMPORTAMENTO DO SISTEMA DE ESGOTO COM PRECIPITAÇÕES....	73
4.7	INFILTRAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEAS	77

4.8	QUANTIFICAÇÃO DA INFILTRAÇÃO E AFLUXO DEVIDO À PRECIPITAÇÃO	84
4.9	AVALIAÇÃO QUALITATIVA	109
5	CONCLUSÃO	112
6	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	114
	REFERÊNCIAS.....	116

1 INTRODUÇÃO

O funcionamento adequado dos sistemas de esgotamento sanitário constitui condição essencial para a saúde pública e para a preservação do meio ambiente. Entretanto, a ocorrência de contribuições indevidas, resultantes de infiltrações subterrâneas e do afluxo de águas pluviais, pode comprometer a eficiência desses sistemas, ocasionando sobrecargas, extravasamentos e representam risco importante de impactarem o tratamento do esgoto nas estações de tratamento (ETE). Diversos estudos têm apontado que a infiltração e o afluxo devido à precipitação (IADP) configuram os principais problemas hidráulicos das redes coletoras de esgoto, reconhecidos há décadas pela literatura internacional como fatores críticos para o desempenho e a durabilidade das infraestruturas de saneamento (Wang, 2019; Sobrinho; Tsutiya, 2011).

O extravasamento de esgoto sanitário, definido como o lançamento não intencional de águas residuais não tratadas diretamente no meio ambiente, é uma das consequências mais preocupantes da entrada de águas indevidas na rede. Esse fenômeno representa risco significativo à saúde pública e ao equilíbrio ambiental, já que pode ocorrer em virtude do excesso de chuvas ou da infiltração em tubulações, ultrapassando a capacidade hidráulica de transporte do sistema (Owolabi et al., 2022). Tais episódios expõem a população a diferentes formas de contaminação, seja pelo contato direto com corpos d'água contaminados, seja pela presença de patógenos dispersos no ar ou na cadeia alimentar (Sojobi; Zayed, 2022).

Estudos recentes distinguem a natureza das contribuições indevidas: enquanto a infiltração é tipicamente de origem difusa, decorrente de juntas danificadas ou fissuras em tubulações, o afluxo tende a ter origem mais pontual, associado às conexões irregulares, tampas de poços de visita ou ligações cruzadas com a drenagem pluvial (Dirckx et al., 2019). Embora diversos países já tenham instituído programas de reabilitação de redes para mitigar esses problemas, ainda faltam avaliações mais sistemáticas acerca da magnitude e dos efeitos das águas indevidas, em especial em contextos urbanos com alta vulnerabilidade ambiental.

No Brasil, a maior parte dos sistemas projetados adota o princípio do separador absoluto, em que esgotos e águas pluviais são conduzidos por redes

independentes. Contudo, observa-se que, na prática, muitos sistemas operam de forma mista, recebendo contribuições indevidas de drenagem pluvial (Festi, 2006). A situação é agravada pelo envelhecimento das infraestruturas, pela falta de manutenção e pela execução inadequada de redes, que favorecem a infiltração em áreas com lençol freático elevado (Zhao et al., 2020). Apesar disso, as normas técnicas brasileiras prescritas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), NBR 9649:1986 e NBR 12207:1992, ainda consideram, no dimensionamento, apenas a parcela de infiltração, desconsiderando de modo sistemático o afluxo. Essa limitação metodológica contribui para que as redes operem frequentemente sob condições subestimadas de vazão.

A escassez de estudos aplicados em território nacional torna-se ainda mais evidente quando se observa a quantidade reduzida de dados recentes sobre infiltração e afluxo obtidos em campo, conforme será mostrado na revisão de literatura. A maioria dos trabalhos que realizaram medições em campo são da década de 80 e 90, com apenas alguns trabalhos mais recentes de medições locais. Grande parte dos valores de referência bibliográfica ainda se baseia em medições antigas, realizadas em contextos distintos da realidade urbana e climática atual, além de valores que variam bastante em ordem de grandeza.

Essa lacuna torna-se crítica diante das condições ambientais locais. A Lagoa da Conceição, Florianópolis/SC, está inserida em área litorânea, com rede coletora implantada há mais de três décadas em solo arenoso e com lençol freático elevado. A região é ainda caracterizada pela ocorrência de eventos extremos de precipitação pluviométrica, que intensificam o risco de sobrecarga da rede. Em 25 de janeiro de 2021, um episódio de chuvas intensas resultou no colapso de uma lagoa de evapoinfiltração utilizada para descarte de efluente tratado do sistema, ocasionando impactos socioambientais significativos e trazendo à tona a necessidade de compreender de forma aprofundada o papel das águas indevidas no desempenho do sistema. Especificamente para esse sistema da região da Lagoa da Conceição, em Florianópolis/SC, não havia registros de pesquisas sistemáticas sobre infiltração e afluxo na rede coletora de esgoto.

Diante desse cenário, o objetivo geral desta pesquisa é medir a influência da contribuição de águas indevidas em um sistema de esgotamento sanitário da região da Lagoa da Conceição, em Florianópolis/SC, por meio da

quantificação das parcelas de infiltração e do afluxo devido à precipitação através de medidores ultrassônicos, bem como separar as parcelas de afluxo e infiltração, além de correlacionar o comportamento do sistema com diferentes condições de chuva.

A pesquisa faz parte de um projeto conduzido pelo Laboratório de Águas Pluviais Urbanas e Técnicas Compensatórias (LAUTEC), que realiza projetos na área de manejo de águas pluviais urbana, mapeamento de áreas de inundação e desenvolvimento de técnicas de drenagem urbana sustentável. A pesquisa possui financiamento da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), e busca oferecer subsídios técnicos e científicos para a gestão mais eficiente do sistema de esgoto da Lagoa da Conceição, bem como, a proteção do ambiente a partir da redução de extravasamentos do sistema.

A investigação aprofundada do impacto das águas indevidas no sistema de esgoto permite um melhor controle destas contribuições, o que contribui para uma melhor gestão do sistema de esgoto, reduzindo a quantidade de extravasamentos de esgoto que podem vir a contaminar os corpos hídricos. Portanto, esta pesquisa está alinhada com o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) número 6, de assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos e todas. Especificamente à meta 6.3, de até 2030, melhorar a qualidade da água nos corpos hídricos, reduzindo a poluição, através da redução da proporção do lançamento de efluentes não tratados. E, ainda, está relacionado diretamente com os indicadores 6.3.1: incremento na proporção de águas residuais tratadas de forma segura e 6.3.2: melhoria na proporção de corpos hídricos com boa qualidade ambiental. Também contribui para o ODS 11, que tem como meta a habitação mais segura para todos, especificamente a meta 11.6 de reduzir o impacto ambiental adverso das cidades, com especial atenção à qualidade da água. Por estar relacionada ao planejamento de medidas de adaptação frente ao aumento previsto de eventos extremos, também se relaciona ao ODS 13, de ações contra a mudança global do clima, através da meta 13.1, de fortalecer a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos climáticos e desastres naturais. Relevante também mencionar a correlação com o ODS 14, vida na água, através da meta 14.1 de reduzir a poluição marinha de todas as fontes, especialmente a proveniente de atividades terrestres. Por fim, a presença de mulheres como protagonistas na

pesquisa amplia de forma consistente o escopo de contribuição da dissertação em direção ao ODS 5 de igualdade de gênero, em especial à meta 5.5, de garantir a participação plena e efetiva das mulheres e a igualdade de oportunidades para liderança em todos os níveis de tomada de decisão na vida política, econômica e pública.

1.1 OBJETIVOS

A partir da problemática apresentada, foram definidos os objetivos desta pesquisa.

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a taxa de infiltração e afluxo em rede de esgoto localizada em região costeira, através de medição sistemática da vazão de esgoto com medidores ultrassônicos e sua relação com a magnitude das precipitações.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Descrever o comportamento da vazão do sistema de esgotamento sanitário da região costeira da Lagoa da Conceição em Florianópolis/SC;
2. Determinar a parcela de infiltração de águas subterrâneas no sistema e o respectivo coeficiente de infiltração de um sistema de esgoto em região litorânea com lençol freático elevado;
3. Determinar a parcela de infiltração e afluxo devido à precipitação presente no sistema e coeficiente de infiltração e afluxo devido à precipitação correspondente.

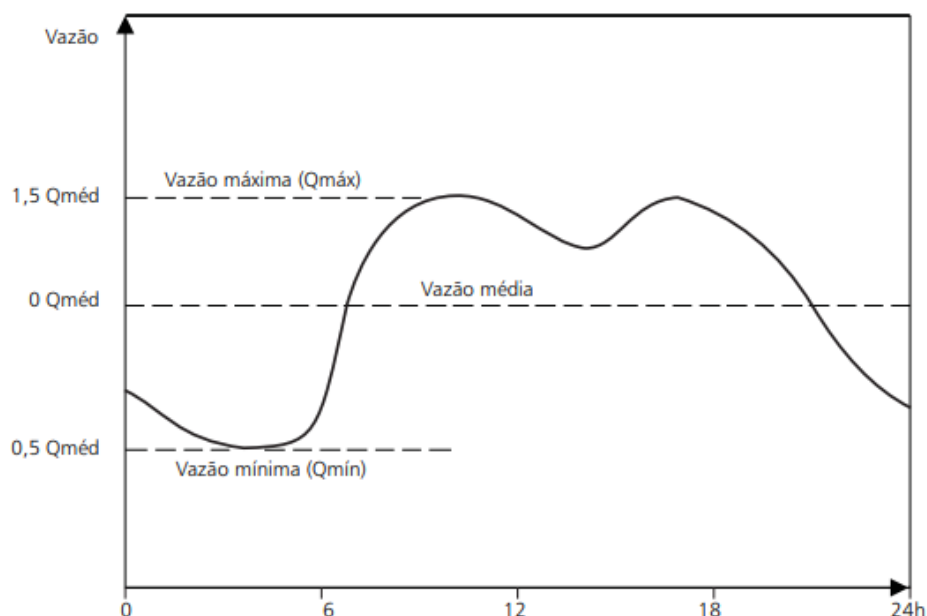
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 COMPORTAMENTO DE UM SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

As contribuições de esgoto variam com as horas, os dias, meses e estações do ano (Sobrinho; Tsutiya, 2011) e são diretamente proporcionais às

variações no consumo de água para abastecimento. Na Figura 1 apresenta-se um hidrograma típico de vazões de esgoto ao longo do dia, no qual é possível observar que as vazões de pico de consumo costumam ocorrer entre 9 e 12 horas, enquanto que as vazões mínimas tipicamente acontecem entre 3 e 6 horas da manhã.

Figura 1 - Vazões típicas horárias de contribuição de esgoto ao longo do dia.

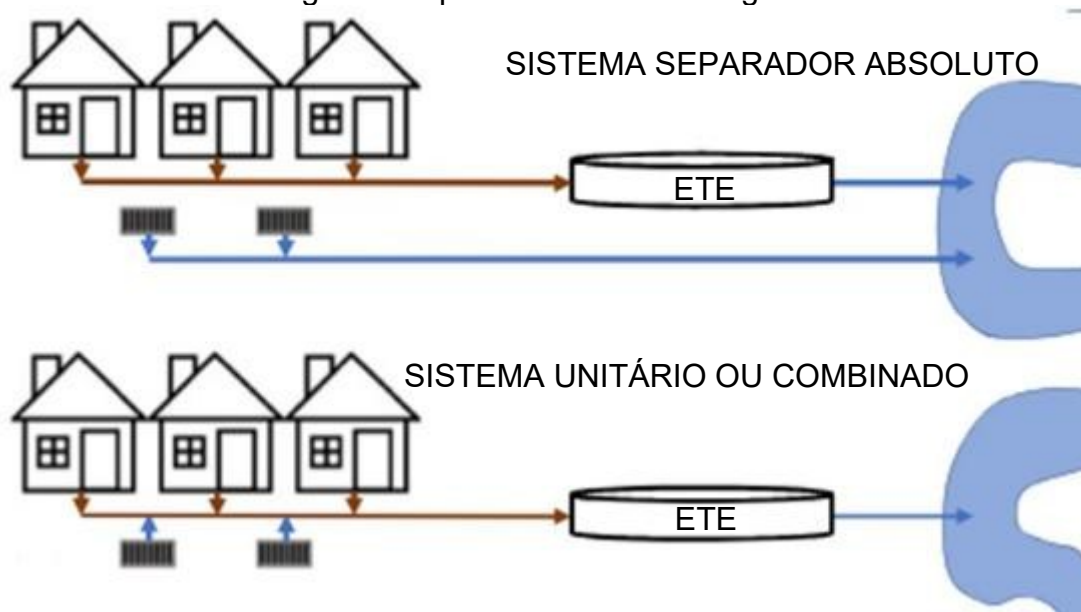


Fonte: Campos *et al*, 1999.

Conforme Sobrinho e Tsutiya (2011), os sistemas de esgoto podem ser classificados da seguinte maneira:

- Sistema unitário ou combinado: as águas residuárias, de infiltração e pluviais veiculam por um único sistema.
- Sistema separador parcial: uma parcela das águas de chuva (de telhados e pátios das economias) são encaminhadas junto com as águas residuárias e de infiltração para um único sistema de coleta e transporte de esgoto.
- Sistema separador absoluto: as águas residuárias e de infiltração veiculam em um sistema independente. As águas pluviais são coletadas e transportadas por sistema de drenagem independente, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2- Tipos de sistema de esgoto.



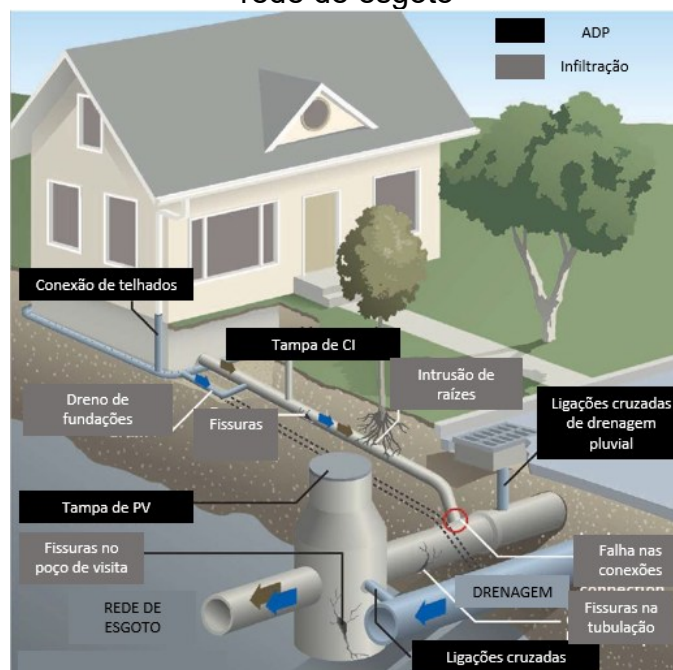
Fonte: Adaptado de Petrie (2021).

Lepot *et al* (2017) destacam que o sistema separador absoluto pode reduzir os riscos à saúde, através da redução da carga hidráulica na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e redução da descarga descontrolada de águas residuais no corpo receptor, porém deve-se atentar as ligações irregulares, que contribuem para o extravasamento de esgoto nos corpos receptores.

As contribuições indevidas na rede podem ser provenientes do subsolo (genericamente chamadas de infiltrações) ou do encaminhamento de águas pluviais através de conexões irregulares de telhados, ligações cruzadas com rede de drenagem pluvial e através de tampas de poços de visitas ou ligações domiciliares, parcela denominada afluxo devido à precipitação, conforme ilustrado na Figura 3.

Para Sobrinho e Tsutiya (2011) as águas pluviais que não deveriam chegar aos coletores geralmente provêm de defeitos das instalações, parcela denominada de infiltração e, também, por conta de ligações clandestinas na rede coletora de esgoto, contribuição esta denominada de afluxo devido à precipitação.

Figura 3 - Fontes de origem de infiltração e afluxo devido à precipitação na rede de esgoto

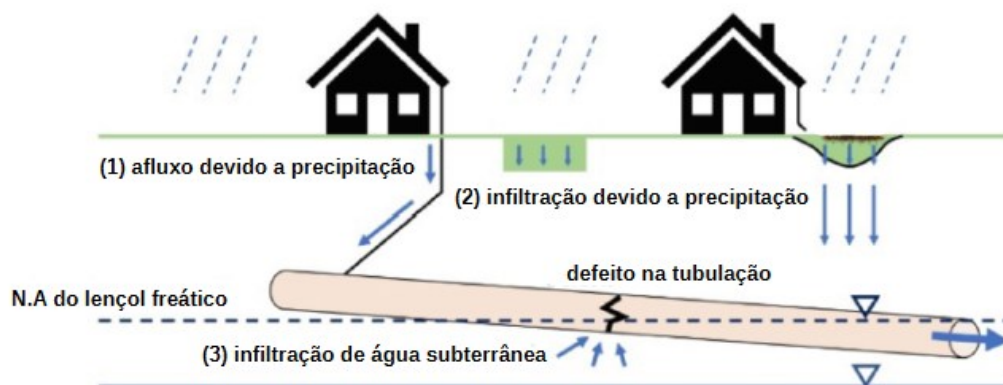


Fonte: Disponível em www.rdn.bc.ca. Acessado em 05/05/2024.

2.1.1 Águas de Infiltração

A infiltração refere-se à água que entra nas tubulações através de trincas ou juntas defeituosas, sendo que esta parcela de contribuição de águas indevidas pode ser dividida em infiltração de águas subterrâneas e infiltração devido à precipitação (Rezaee; Tabesh, 2022). Sendo a primeira uma contribuição constante de água indevida na rede coletora e a segunda representada pela parcela de água que infiltra na rede pelo subsolo após um evento de precipitação. A diferença entre as parcelas de contribuição de águas indevidas é representada através da Figura 4.

Figura 4 – Esquema representativo dos tipos de águas indevidas: afluxo e infiltração devido à precipitação e infiltração de águas subterrâneas.



Fonte: Adaptado de Rezaee e Tabesh, 2022

2.1.2 Infiltração de Águas Subterrâneas

A NBR 9649:86 (ABNT, 1986), que dispõe sobre projetos de redes coletoras de esgoto sanitário, recomenda que, em inexistindo dados locais, seja utilizada uma taxa de infiltração entre 0,05 a 1,0L/s.km, o que é considerada uma faixa muito grande de variação de valores. Vale destacar que esta taxa de infiltração é relativa apenas a parcela de infiltração de água subterrâneas, desconsiderando a infiltração devido à precipitação, uma vez que as contribuições de águas pluviais não devem ser contabilizadas no dimensionamento de sistemas separadores absolutos.

A taxa de infiltração depende de condições locais, como por exemplo: nível de água do lençol freático, natureza do subsolo, qualidade da execução da rede, material da tubulação e tipo de junta utilizado (ABNT, 1986). De acordo com Sobrinho e Tsutiya (2011), a quantidade de água infiltrada depende do estado de conservação, assentamento adequado das tubulações, permeabilidade, entre outros. Ainda conforme os autores, regiões litorâneas, onde o solo costuma ser arenoso e o lençol freático à pequena profundidade, estão mais propícias à infiltração quando comparadas com regiões mais altas, em que o lençol freático é mais profundo e o solo é mais argiloso.

Diogo *et al* (2018) complementam que a infiltração é mais problemática em redes de esgoto instaladas em regiões costeiras com nível freático elevado, em redes mal executadas, em mau estado de conservação ou antigas.

Metcalf e Eddy (2016) também apontam que a taxa de infiltração depende do comprimento da rede coletora, da área servida, condições topográficas e a densidade populacional, uma vez que altera o número de ligações por extensão de rede.

De acordo com informações obtidas com algumas Companhias de Saneamento, os valores de coeficiente de infiltração utilizados no dimensionamento das redes coletoras não são baseados em medições locais. Em Santa Catarina a CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento) adota em seus projetos o valor de 0,2 L/s.km para rede distante do lençol e 0,4 L/s.km para redes próximas ao lençol freático. No estado de São Paulo a SABESP utiliza como critério taxa de infiltração de 0,1 L/s.km para redes acima do lençol e 0,5 L/s.km para redes preponderantemente abaixo do lençol, enquanto que a CORSAN, no Rio Grande do Sul, em sua diretriz técnica para projetos recomenda o valor e 0,5 L/s.km para todas as localidades.

Na Tabela 1, adaptada de Sobrinho e Tsutiya (2011), apresentam-se as taxas de infiltração obtidas por medições e recomendações para projetos.

Tabela 1 - Taxas de infiltração de águas subterrâneas de acordo com diversos autores.

(continua)

Autor	Local	Região	Ano	Taxa de infiltração (L/s.km)	Condições de obtenção dos valores
Saturnino de Brito	Santos-SP e Recife-PE	litorânea	1911	0,1 a 0,6	Medições
Jesus Netto	São Paulo-SP	interior	1940	0,3 a 0,7	Medições em redes secas
T. Merriman	EUA	-	1941	0,03 a 1,4	Medições
Azevedo Netto	São Paulo-SP	interior	1943	0,4 a 0,9	Medições em redes novas
Greeley e Hansen	São Paulo-SP	interior	1952	0,5 a 1,0	Medições
DES Sursan	Rio de Janeiro-RJ	litorânea	1959	0,2 a 0,4	Medições
E. W. Steel	EUA	-	1960	0,4 a 1,37	Recomendações para projeto
I. W. Santry	EUA	-	1964	0,3 a 1,4	Medições
Hazen e Sawyer	São Paulo-SP	interior	1965	0,3 a 1,7	Medições
WPCF	EUA	-	1969	0,27 a 1,09	Recomendações para projeto
SANESP/Max A. Veit	São Paulo-SP	interior	1973	0,3	Medições
Paes Leme	Rio de Janeiro-RJ	litorânea	1977	0,2	Medições
Metcalf e Eddy Inc.	EUA	-	1981	0,15 a 0,6	Recomendações para projeto

(conclusão)

Autor	Local	Região	Ano	Taxa de infiltração (L/s.km)	Condições de obtenção dos valores
Dario P. Bruno e Tsutiya	Cardoso, Ibiúna, Lucélia e São João da Boa Vista	interior	1983	0,02 a 0,1	Medições em redes secas, acima e abaixo do lençol e em redes operando há vários anos
SABESP	Estado de São Paulo	interior	1984	0,05 a 0,5	Recomendações para projeto
Carlos A. Santos e Adejalmo F. Gazen	Canoas, Santa Maria, Tramandaí, Capão da Canoa, Guaíba e Alvorada (RS)	interior e litorânea	1985	0,013 a 0,72	Medições em redes secas, acima e abaixo do lençol, com e sem junta elástica.
NBR 9649 - ABNT	Brasil	-	1986	0,05 a 1,0	Recomendações para projeto. O valor deve ser justificado.
Luis P. Almeida Neto, Gilberto O. Gaspar, João B. Comparini e Nelson L. Silva	Cardoso, Indaiaporã, Guarani D'Oeste e Valentim Gentil (SP)	interior	1989	0,01 a 0,116	Medições em sistemas operando há vários anos
João B. Comparini	Cardoso, Indaiaporã, Guarani d'Oeste e Pedranópolis (SP)	interior	1990	0,021 a 0,038	Medições em sistemas operando há vários anos
Lineu R. Alonso, Rodolfo J. Costa e Silva Jr., Francisco J.F. Paracampo	São Paulo-SP	interior	1990	0,24 a 0,35	Medições em sistemas operando há vários anos
Milton T Tsutiya e Orlando Z. Cassettari	Tatuí-SP	interior	1995	0,33	Medições em sistema operando há vários anos
Frederico Y. Hanai e José R. Campos	Araraquara-SP	interior	1997	0,17	Medições em sistema operando há vários anos
Festi	Borborema-SP	interior	2006	0,518	Medições por alguns meses
Paulo César Lamin e Pablo Heleno Sezerino	Joaçaba-SC	interior	2012	0,088	Medições em um sistema ao longo de 1 ano
CORSAN	Rio Grande do Sul	todas regiões	2016	0,5	Diretriz técnica para elaboração de projetos
Saman Belizario Broering	Florianópolis-SC	litorânea	2018	0,6 a 0,9	Medições em campo ao longo de 3 meses
CASAN	Estado de Santa Catarina	todas regiões	2025	0,2 a 0,4	Diretriz técnica para elaboração de projetos
SABESP	Estado de São Paulo	todas regiões	2025	0,1 a 0,5	Diretriz técnica para elaboração de projetos

Fonte: Adaptada de Sobrinho e Tsutiya (2011).

Os valores recomendados pela bibliografia de taxas de contribuição variam bastante em ordem de grandeza e nem sempre representam a contribuição real observada nos sistemas.

2.1.3 Infiltração e Afluxo devido à Precipitação Pluviométrica (IADP)

A sobrecarga no sistema de esgotamento sanitário ocorre em virtude da parcela de águas indevidas denominada de infiltração e afluxo devido à precipitação. Apesar de serem parcelas distintas que contribuem para a rede - uma vez que uma é decorrente do escoamento subsuperficial proveniente da chuva, e a outra do escoamento direto das águas pluviais para o sistema – estas parcelas se confundem por conta da dificuldade de separar uma da outra, tendo sido convencionada a nomenclatura de infiltração e afluxo devido à precipitação para a parcela de águas pluviais que contribuem para o SES.

Apesar da rede sempre sofrer ações dessas contribuições, a NBR 9649:86 recomenda que apenas a infiltração de água subterrânea seja considerada no dimensionamento da rede. A parcela referente a infiltração e afluxo devido à precipitação só deve ser considerada no dimensionamento dos extravasores de interceptores, conforme a NBR 12207:92 da ABNT, que especifica os requisitos para a elaboração de projeto hidráulico sanitário de interceptores de esgoto sanitário. Esta norma recomenda que seja utilizada uma taxa de até 6 L/s.km (ABNT, 1992).

Metcalf e Eddy (2016) classificam o afluxo devido à precipitação em diversos tipos:

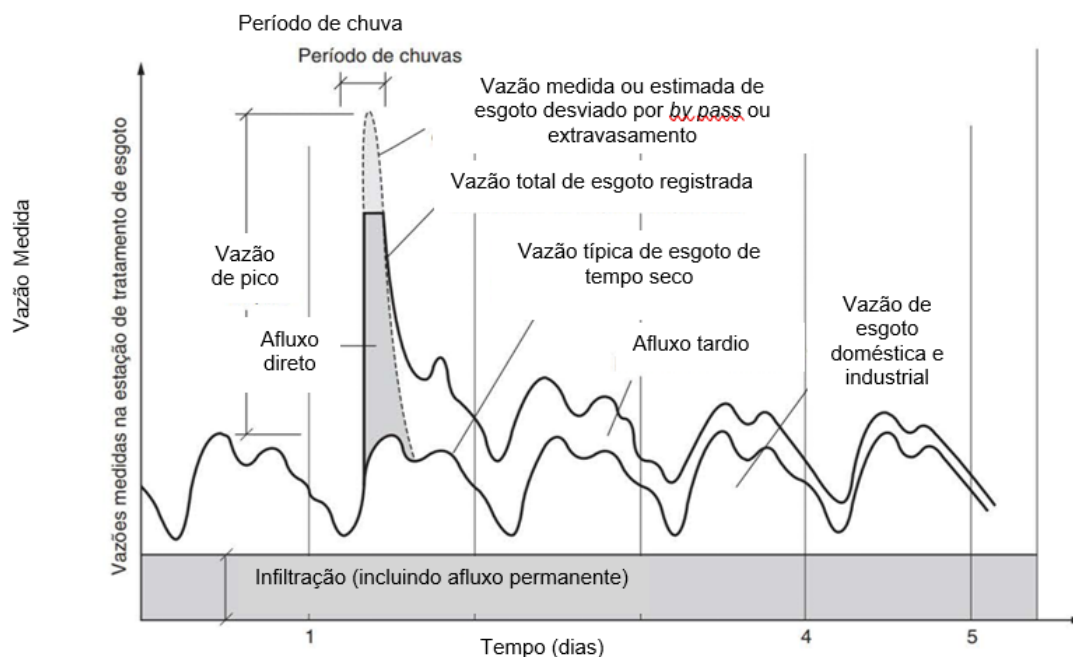
Afluxo permanente: contribuição de água constante que pode ser confundida com a vazão de infiltração, como por exemplo contribuições provenientes de interligações irregulares de porões e drenos de fundações.

Afluxo direto: conexões diretas de escoamento superficial de águas pluviais ao sistema de coleta. Fontes possíveis: coletores de águas pluviais, drenagem de pátios, tampas de poços de visitas, conexões cruzadas, conexões com drenos de águas pluviais, intrusão de rios e marés.

Afluxo tardio: entradas tardias, que não são causadas pelas conexões diretas, podem incluir drenos de fundações e a lenta entrada de água superficial em poços de visita em áreas alagadas.

Na Figura 5 apresenta-se um gráfico com padrão de vazão de esgoto em tempo seco e as variações de vazão em dias chuvosos conforme o tipo de contribuição de águas indevidas na rede coletora.

Figura 5 - Tipos de afluxos devido à precipitação em rede de esgoto.



Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddy (2016).

O afluxo tardio corresponde ao escoamento pluvial que penetra no sistema de esgoto após um atraso significativo em relação ao início de um evento de chuva. Pode ser chamado de infiltração devido à precipitação, como forma de diferenciar da parcela de águas subterrâneas. O afluxo tardio inclui tanto o escoamento que atravessa o solo até o sistema de esgoto quanto as contribuições provenientes de drenos de fundação e bombas de recalque conectadas ao sistema, e se situa entre a resposta rápida do afluxo direto e a resposta lenta da infiltração de água subterrânea (Sowby; Jones, 2022).

Na Tabela 2, adaptada a partir de Tsutiya e Bueno (2004), apresenta-se um resumo dos principais dados obtidos por diversos autores sobre a influência da contribuição do IADP no sistema de esgoto. Percebe-se da tabela que, assim como nos valores de referência para taxas de infiltração, as taxas de contribuição de afluxo devido à precipitação são bem variadas de acordo com cada autor.

Tabela 2 - Taxa de Contribuição de Infiltração e Afluxo Devido à Precipitação (IADP) em sistemas brasileiros.

Autor	Local	Ano	Taxa de IADP (L/s.km)
Greeley e Hansen	São Paulo	1952	0,15
Des, Sursan	Rio de Janeiro	1959	6
Hazen e Sawyer	São Paulo	1965	0,16
SANESP	São Paulo	1973	6
Alonso <i>et al</i>	RMSP	1990	1,57 a 12,01
Almeida Neto	Lins	1990	Nd
AMPI	Tatuí	1992	2,27
ABNT	Brasil	1992	6
Pauli	São Paulo	1998	3,9
Tsutiya e Bueno	Franca	2003	2,13 a 2,2
Festi	Borborema	2006	0,08 a 12,15
Lamin e Sezerino	Joaçaba (SC)	2012	0,121 a 0,538
Broering	Florianópolis (SC)	2018	0,7 a 1,86

Fonte: Adaptado de Tsutiya e Bueno (2004).

2.2 IMPACTOS DAS ÁGUAS INDEVIDAS EM REDE DE ESGOTO

Os impactos ocasionados pelo afluxo e infiltração podem causar sérios problemas operacionais em sistemas de esgoto sanitário e estações de tratamento de esgoto. Em áreas em que a rede coletora de esgoto está abaixo do nível do lençol freático, a infiltração de água na rede normalmente ocorre através de rachaduras ou das juntas de tubulações, onde a vazão de água subterrânea infiltrada pode variar de 30% até 72% da vazão de esgoto (Zhao *et al*, 2020).

O rápido crescimento populacional e o planejamento urbano inadequado contribuem para sistemas complexos de drenagem urbana compostos por uma mistura de redes de esgoto sanitário, pluvial e principalmente combinadas (Owolabi *et al*, 2022). À medida que a rede de esgoto recebe a contribuição de IADP, seu comportamento hidráulico é modificado. Não raramente, a tubulação passa a operar como conduto forçado, ocasionando transtornos aos usuários e, também, ao sistema de tratamento de esgoto (Lamin; Sezerino, 2012). Ainda conforme os autores, apesar do conhecimento da influência dessas águas indevidas no sistema de esgotamento sanitário, poucos são os estudos para determinar, quantificar e combater ou controlar esta interferência.

A entrada de águas indevidas no sistema de esgotamento sanitário (SES) aumenta os custos de bombeamento, a vazão de esgoto, diluem o efluente e amplia a chance de extravasamento (ZHANG *et al*, 2018). Outras problemática das contribuições de infiltração e afluxo envolvem também a perda de eficiência no tratamento, por conta da diluição e aumento da carga hidráulica, além de aumento nos custos de tratamento e redução na capacidade de atendimento, o que pode impedir novas ligações ao sistema de esgoto por conta da sobrecarga de contribuições indevidas.

Luo (2021) chama a atenção para as cidades com redes envelhecidas ao longo das áreas costeiras, onde os aquíferos são rasos, alertando que estas são particularmente vulneráveis à entrada de águas indevidas.

Passerat *et al* (2011) destacam que os impactos do extravasamento de esgoto em ambientes aquáticos são diversos em termos de tipo e dinâmica de poluição no tempo e no espaço, e abrangem: (i) depleção de oxigênio devido à biodegradação da alta carga de matéria orgânica proveniente do esgoto, (ii) aumento da turbidez levando à redução da penetração de luz na água, (iii) aumento na concentração de micropoluentes orgânicos, (iv) aumento na concentração de metais e (v) aumento na concentração de patógenos e indicadores de contaminação fecal. Neste trabalho foi avaliada a composição do esgoto extravasado, em um ponto do Rio Sena em Paris, e monitoradas as alterações de concentração de indicadores de contaminação fecal no rio que recebe esta contribuição. Verificou-se que o aumento na concentração por contaminação fecal foi de 80 à 100 vezes maior que a concentração do esgoto tratado e lançado no mesmo rio em tempo seco.

A presença das águas indevidas no sistema de esgoto impacta também nos custos da operação especialmente no que se refere ao bombeamento. A presença destas águas represente maior volume de esgoto a ser bombeado por todas as estações de bombeamento do sistema. Maior volume a ser bombeado representa diretamente maior custo de energia elétrica para o sistema, maior desgaste das bombas que precisam trabalhar mais tempo com consequente redução de vida útil.

A boa performance das redes coletoras é essencial para a saúde pública, controle da poluição, sustentabilidade econômica e ambiental. As redes nem sempre são bem executadas e conexões irregulares são frequentemente

identificadas. Além disso, muitas redes antigas têm operado em condições inapropriadas (Diogo *et al*, 2018).

Zhang *et al* (2018) reforçam que conhecer as vazões de contribuição de águas indevidas é importante para a operação de sistemas de esgotamento sanitário e pode ser utilizada como potencial indicador para avaliar as condições da rede, como interconexões com a rede pluvial, vazamentos e falhas na tubulação.

2.2.1 Métodos para medição de IADP

As metodologias para estimativa da infiltração e afluxo podem ser divididas entre quantitativas e qualitativas (Karpf; Krebs, 2011). Um exemplo de medições qualitativas é a utilização de métodos visuais, sendo os mais populares: teste de fumaça e de corante para detecção de ligações irregulares e, também, a inspeção de rede coletora por vídeo. Já os métodos quantitativos podem ser do tipo hidráulicos, que geralmente se utilizam do balanço de taxas de descargas atuais e parcelas de esgotos residuais teóricas para a determinação de IADP (Kretschmer *et al*, 2008), ou químicos (através de dados de qualidade do esgoto ou adição de agente traçador).

A aplicação de metodologias não convencionais utilizando associação de métodos qualitativos, químicos e hidráulicos, para a estimativa da infiltração e afluxo se apresenta como uma ferramenta oportuna para medição de IADP (De Bénédittis; Bertrand- Krajewski, 2005; Hanai; Campos, 1997; Lamin; Sezerino, 2012).

Barbassa (2006 apud Festi 2006, p. 39) reforça que muitos modelos para medição do IADP estimam a infiltração mais o afluxo devido à precipitação sem distinção ou separação e apenas modelos mais sofisticados fazem a separação da infiltração do afluxo.

Métodos tradicionais para estimativa de IADP encontrados na literatura incluem: o método da taxa unitária constante (empírico), o método do percentual de volume de chuva (empírico), o método do hidrograma unitário sintético (conceitual), o método probabilístico (probabilístico), o método da regressão (estatístico) e métodos baseados em software de modelagem hidráulica (computacional) (Wang *et al*, 2024).

2.3 ESTADO DA ARTE SOBRE MEDIÇÃO DE INFILTRAÇÃO E AFLUXO

Um dos primeiros trabalhos realizados no Brasil que se tem conhecimento de medições de infiltração é da década de 1940, de Saturnino de Brito, com medições realizadas em Santos e Recife, e do eng. Jesus Netto que realizou medições em rede com um número reduzido de ligações. Nesta época a infiltração era estimada a partir de medição de vazão em rede inoperante, em área com consumo de água conhecido e medições de vazão mínima noturna em tempo seco, além de dias com total e prolongada falta de água (Azevedo Netto, 1979). Ainda segundo o autor, no ano de 1959 foi realizado pelo antigo Departamento de Esgotos Sanitários do Rio de Janeiro (DES) medições de IADP em uma área de Copacabana, no Rio de Janeiro, região com frequente contribuição de águas pluviais na rede de esgoto, onde se obteve o coeficiente de 6,0 L/s.km, que foi incluído no ano de 1972 na NBR 12207:92 – Projeto de Interceptores de Esgoto Sanitário como valor máximo a ser utilizado, sendo que este valor permanece até hoje como referência na respectiva NBR.

Entre 1981 e 1983, Bruno e Tsutiya (1983) avaliaram as vazões de infiltração em oito cidades no estado de São Paulo, onde as vazões foram estimadas através de medição direta em uma rede seca utilizando um cronômetro digital e um recipiente com volume conhecido. Também realizaram medições em rede em carga através de medidor *Parshall* e vertedores triangulares, com as medições feitas a cada meia hora, 24 horas por dia. Para este estudo os autores consideraram a vazão de infiltração como sendo a vazão mínima noturna, mesmo sabendo que pode haver interferência de contribuição de esgoto durante a madrugada. Como resultado desta pesquisa os autores sugeriram valores distintos para coeficiente de infiltração no dimensionamento de redes coletoras: 0,1 L/s.km para coletores em cota superior ao nível do lençol freático e 0,2 L/s.km para coletores em cota inferior ao nível do lençol.

No ano de 1997, um estudo de caso realizado por Hanai e Campos (1997), no município de Araraquara-SP, quantificou a infiltração na rede coletora a partir das vazões mínimas noturnas, através de um medidor *Parshall* instalado em um emissário de esgoto, com leituras a cada 15 minutos em um período de 24 horas em três dias da semana. Cabe destacar que para as medições não houve restrição de número de dias sem chuva antes e durante o período de

medição. Nesta investigação foi observado que o período com menor vazão noturna era entre 3 e 6 horas da manhã, atribuída como vazão mínima noturna. A determinação da vazão de infiltração foi feita através da média ponderada, conforme apresentado na Equação 1.

$$DQO_{média} = \frac{(Q_{esg} * DQO_{esg}) + (Q_{inf} * DQO_{inf})}{(Q_{esg} + Q_{inf})} \quad (1)$$

Sendo:

$DQO_{média}$: a concentração média de esgoto no período entre 3h e 6h da manhã (mg/L);

Q_{esg} : vazão de esgoto (L/s);

DQO_{esg} : concentração média do esgoto no período de 24h (mg/L);

Q_{inf} : vazão de infiltração (L/s);

DQO_{inf} : concentração das águas de infiltração (considerada nula) (mg/L);

Em 2004, Tsutiya e Bueno publicaram pesquisa demonstrando que em grande parte das cidades brasileiras o sistema separador absoluto é, de fato, separador parcial. O estudo concluiu que a contribuição de águas pluviais em sistemas de esgoto sanitário é muito variável, atingindo valores que variam de 26% a 283% sobre a vazão máxima de período seco (QMPS) e os coeficientes de taxa de afluxo devido à precipitação variaram de 0,15 a 12 L/s.km.

Como recomendação deste estudo, Tsutiya e Bueno (2004) sugerem que valores de IADP acima de 3 L/s.km, devem ser extravasados como medida para não comprometer o funcionamento do sistema de esgoto, sendo este valor considerado no dimensionamento da rede e unidades do sistema. Os autores recomendaram medições em outros sistemas de esgotos, como ferramenta para definição de novos parâmetros de IADP mais condizentes com a realidade dos sistemas em funcionamento no país. Os principais valores de IADP compilados por este estudo foram anteriormente apresentados na Tabela 2.

Em trabalho realizado por De Bénédittis e Bertrand-Krajewski (2005), em que se comparou as taxas de infiltração em diferentes cidades da Europa, os autores verificam que a vazão de infiltração é aproximadamente 20% da vazão de tempo seco.

Uma conclusão importante desse trabalho foi a de que a incerteza varia de acordo com o número de dias secos utilizados na metodologia do fluxo

noturno, devendo ser entre 8 e 10 dias para se obter uma incerteza aceitável. De acordo com os autores, não há método de medição ideal, mas um conjunto de métodos que pode ser aplicado de acordo com as condições experimentais do local de estudo.

Posteriormente, um estudo de caso realizado por Festi (2006) determinou as parcelas de afluxo e infiltração em uma bacia de sistema de esgotamento sanitário de pequeno porte, na cidade de Borborema-SP. Os dados pluviométricos foram coletados no período de outubro de 2005 e janeiro de 2006 através de um pluviógrafo eletrônico, além de um pluviômetro mecânico para conferência dos dados, que foram agrupados com os dados de vazões de esgoto do sistema. Já para a medição da vazão de esgoto o autor utilizou dados diários do tempo de funcionamento da bomba da estação elevatória, que teve a vazão de bombeamento previamente aferida através de uma calha *Parshall* instalada a montante do poço de sucção.

Para determinação do IADP o autor utilizou como base a metodologia proposta por Metcalf e Eddy (1991), que classifica os eventos de chuva conforme a precipitação diária, onde:

C (evento chuvoso significativo): Precipitação total diária maior que 10 mm.

U (tempo úmido): dois dias após qualquer evento chuvoso significativo.

N (evento chuvoso não significativo): Precipitação total diária menor que 10 mm.

S (tempo seco): todos os outros períodos com precipitação inferior a 4 mm.

De acordo com o autor, esta classificação foi baseada na análise dos dados, em que se verificou que o comportamento das curvas de vazão era pouco influenciado por eventos chuvosos de baixa intensidade.

Esta metodologia propõe a determinação da infiltração da seguinte forma:

- 1) Seleção do evento de tempo seco;
- 2) Identificação do dia de menor vazão de tempo seco e obtenção da vazão média de esgoto do dia, classificada como vazão de tempo seco;
- 3) Identificação do dia úmido;

A estimativa volumétrica de IADP foi feita a partir da seleção dos dados, em que se utilizou o mesmo dia da semana do período de tempo seco e o dia do evento de chuva significativo, conforme Equação 2.

$$IADP_{vol} = V_{TOTAL} - V_{TS} \quad (2)$$

Onde:

$IADP_{vol}$: volume de IADP (m^3);

V_{TOTAL} : volume de esgoto acumulado no dia de chuva significativa (m^3);

V_{TS} : volume de esgoto acumulado no dia de tempo seco (m^3).

Já a determinação da taxa de infiltração na rede coletora foi calculada através da Equação 3.

$$i = \frac{Q_{MDU} - Q_{MDS}}{L} \quad (3)$$

Sendo:

i : taxa de infiltração em tempo seco (L/s.Km);

Q_{MDU} : vazão média diária em tempo úmido (L/s);

Q_{MDS} : vazão média diária em tempo seco (L/s);

L : Extensão total da rede de esgoto (Km).

Como resultado desta pesquisa obteve-se o coeficiente de infiltração de 0,52 L/s.

Um estudo conduzido em Dresden, na Alemanha, por Karpf e Krebs (2011), empregou um método para estimar IADP baseado em modelagem que utilizou uma base de dados consistentes de medições de vazão de infiltração e afluxo na rede. O modelo demonstrou ser eficaz na quantificação da dinâmica de vazão de tempo seco, de infiltração e IADP de acordo com as variações temporais, no qual possível correlacionar características da rede, tais como ano de execução e nível do lençol freático, com o IADP observado. Para futuras pesquisas recomendou-se para a calibração do modelo, uma base de dados mínima de um ano de eventos climáticos extremos.

Lamin e Sezerino (2012), entre julho de 2010 e agosto de 2011, avaliaram o IADP da rede coletora de esgoto do município de Herval d'Oeste-SC, que também recebe contribuição de esgoto do município de Joaçaba.

Através de dados do sistema supervisorio da operadora de saneamento local foram obtidos os dados de funcionamento da elevatória final do sistema. A vazão média de bombeamento foi estimada a partir da correlação entre o tempo de funcionamento da bomba e o volume succionado, enquanto que os dados de precipitação foram obtidos a partir de pluviômetro instalado a 5 km de distância da elevatória final.

A determinação da vazão de infiltração foi feita a partir de uma adaptação da metodologia de Hanai e Campos (1997) de vazões mínimas noturnas, através de medições horárias de DQO do esgoto num período de 24 horas. Para este estudo considerou-se o termo DQO_{esg} da Equação 1, apresentada anteriormente, como sendo a média das concentrações do período entre 11h e 20h do dia de maior vazão de esgoto, reduzindo a influência de diluição do esgoto pela parcela de infiltração. Já a estimativa do afluxo foi realizada a partir de uma adaptação da metodologia utilizada por Festi (2006), que utilizou o método de Metcalf e Eddy (1991).

Para este estudo de caso adotou-se como tempo seco o período dos três últimos dias que antecedem um evento chuvoso, considerando no mínimo 7 dias sem precipitação antes do tempo seco, onde foram então selecionados 3 eventos com campanhas de avaliação da concentração horária de DQO do efluente. Segundo os autores, esta metodologia de média aritmética reduz erros relacionados às diferenças de consumo de água em diversos dias da semana.

Em artigo publicado por Lepot *et al.* (2017), é apresentada uma abordagem para detectar e quantificar conexões irregulares e infiltrações em sistemas de esgoto utilizando câmeras de infravermelho. Os pesquisadores avaliaram uma rede de esgoto na Holanda, comparando os resultados com outras técnicas existentes e concluíram que essa abordagem pode ser uma alternativa promissora para a detecção de ligações irregulares, porém a metodologia não se mostrou eficaz na quantificação destas contribuições.

Em estudo de caso realizado na China, na cidade de Wuxi por Zhang (2018) desenvolveu-se um método simples com bom custo-benefício para estimar a infiltração, o afluxo devido à precipitação e o extravasamento de esgoto baseado em dados de condutividade hidráulica, bem como medidas de vazão de tempo seco e em dias de chuva, utilizando dados medidos no sistema de esgotamento sanitário local.

Outro método para determinação da origem e quantidade de infiltração na rede de esgoto, realizado na cidade de Chaohu, China, é apresentado no artigo de Zhao *et al* (2020) através da medida e rastreamento de um composto químico, em que a quantidade de água infiltrada em cada bacia é determinada através do balanço de massa.

Na análise dos dados verificou-se que a taxa de infiltração é maior no período noturno, quando a vazão de esgoto é mínima e consequentemente a altura da lâmina dentro do tubo é menor, o que pode ser explicado pela Lei de Darcy, uma vez que a taxa de infiltração está relacionada à diferença de potencial do nível da água subterrânea e a altura do esgoto dentro da tubulação. Sendo assim, os autores sugerem que o controle da infiltração pode ser feito através do controle de nível de esgoto na tubulação, a partir do acionamento das bombas de recalque, mantendo a altura da lâmina de água elevada dentro da tubulação, reduzindo assim a diferença de potencial.

Zhang e Parolari (2022) investigaram o impacto de IADP na rede de esgoto, através da aplicação de um modelo hidrológico que leva em conta a interação entre superfície e subsuperfície. O modelo foi baseado em dados medidos na rede de esgoto de Milwaukee e simulou o quanto a substituição de estruturas convencionais de drenagem por tecnologia de drenagem sustentável podem contribuir para redução na contribuição de águas indevidas para o sistema de esgoto. As simulações demonstram que a maior vantagem na aplicação de drenagem sustentável está na redução das vazões de pico da rede de esgoto, no entanto não se mostrou capaz de reduzir consideravelmente o valor de IADP, uma vez que a parcela que deixou de contribuir como afluxo para o SES, passou a contribuir em parte como vazão de infiltração.

Em estudo de caso realizado em South Salt Lake, Utah, EUA, por Sowby e Jones (2022), com dados do ano de 2019, foi avaliado a influência do afluxo tardio sob o sistema de esgotamento sanitário local. A metodologia foi baseada na construção de um modelo estatístico de regressão linear múltipla capaz de decompor a vazão diária de um sistema de esgoto sanitário em quatro componentes: vazão sanitária, infiltração de águas subterrâneas, afluxo direto e afluxo tardio. Para isso, os autores definiram variáveis explicativas associadas a cada mecanismo físico de entrada de água no sistema, incluindo o consumo de água durante o inverno para estimar a vazão de esgoto sanitário, uma função

cosseno para representar a sazonalidade do lençol freático, a precipitação no próprio dia para o afluxo direto e a precipitação média móvel ao longo de A dias como variável representativa do afluxo tardio. Essa última componente, conforme discutido no artigo, expressa o volume de afluxo devido à precipitação que percola pelo solo e chega ao sistema com atraso significativo em relação ao evento de chuva, sendo o elemento mais difícil de isolar empiricamente. A inclusão da média móvel de precipitação aprimorou substancialmente o ajuste do modelo, permitindo captar tanto a magnitude quanto a duração acumulada dos eventos chuvosos que influenciam o aporte tardio, resultando em forte capacidade preditiva (R^2 ajustado de 0,91) e evidenciando que o afluxo tardio pode representar parcela relevante da vazão, cerca de 18% superando, inclusive, o impacto do afluxo direto para este estudo de caso.

Em pesquisa realizada por Broering (2023) em uma bacia de esgotamento em Florianópolis-SC, foi proposta metodologia de estimativa do IADP a partir das condições de operação disponíveis na companhia de saneamento, para que o método possa ser replicado em outras bacias sem aquisições onerosas para Companhia. A quantificação do IADP foi feita através da metodologia de Metcalf e Eddy (1991) adaptada por Lamin e Sezerino (2012), na qual o afluxo é medido considerando a diferença entre o volume acumulado em um dia chuvoso significativo e o volume acumulado em período seco, sendo considerado como tempo seco o período de 7 dias anteriores ao evento com precipitação de até 4mm, e o volume do período de tempo seco correspondia à média aritmética do volume de esgoto bombeado dos três últimos dias que antecederam o evento chuvoso significativo. Para se obter o histórico de dados de vazão de bombeamento, como não havia medidor de vazão instalado na estação elevatória, foi instalado um medidor de vazão portátil na linha de recalque para medição da vazão de bombeamento de cada bomba e, também, a vazão dos dois conjuntos em funcionamento. A partir da vazão média de bombeamento e dos dados de liga e desliga das bombas, obtidos através do sistema supervisorio, obteve-se o volume diário de esgoto recalcado.

Ainda no projeto realizado por Broering (2023), a infiltração foi quantificada através da metodologia das vazões mínimas noturnas com estimativa da concentração de DQO proposta por Hanai e Campos (1997), adaptada por Lamin e Sezerino (2012), conforme Equação 1. Foram realizadas

três campanhas em tempo seco para coleta de esgoto e realização do ensaio de DQO, com coletas na entrada da estação elevatória, ao longo de todo o dia de hora em hora. Como resultado dessa pesquisa, obteve-se que em tempo chuvoso houve a variação de 69% a 183% sobre a vazão média bombeada em tempo seco na bacia, e o coeficiente de infiltração obtido esteve na faixa de 0,6 a 0,9 L/s.

A seguir é apresentada na Tabela 3 uma síntese dos principais trabalhos relacionados ao tema de infiltração e afluxo que foram utilizados como referência para esta pesquisa.

Tabela 3 - Principais trabalhos relacionados ao tema IADP.

(continua)

ID	TÍTULO	AUTORES	TIPO DE ESTUDO	ANO
1	Contribuições Indevidas para a Rede de Esgotos	Azevedo Netto, J.M.	Revisão Bibliográfica	1979
2	Infiltração de água nos coletores de esgotos sanitários	Bruno e Tsutyia	Estudo de caso	1983
3	Avaliação da infiltração na rede coletora de esgotos na bacia do Ribeirão do Ouro da cidade de Araraquara-SP	Hanai e Campos	Estudo de caso	1997
4	Contribuição de Águas Pluviais em Sistemas de Esgoto Sanitário no Brasil	Tsutyia, M. T. e Bueno, R. C. R.	Revisão Bibliográfica	2004
5	Infiltration in sewers systems: comparison of measurement methods	Bertrand-Krajewski	Revisão Bibliográfica	2005
6	Estimativa da infiltração e do afluxo devidos a precipitação na rede de esgoto sanitário em município de pequeno porte	Festi, A. V.	Estudo de caso	2006
7	Quantification of groundwater infiltration and surface water inflows in urban sewer networks based on a multiple model approach	Karpf, C.; Krebs, P.	Estudo de caso	2011
8	Estimativa das infiltrações e afluxo devido à precipitação em uma rede coletora de esgoto	Lamim e Sezerino	Estudo de caso	2012
9	Detection and quantification of lateral, illicit connections and infiltration in sewers with Infra-Red camera: Conclusions after a wide experimental plan	Lepot	Estudo de caso	2017
10	Quantifying rainfall-derived inflow and infiltration in sanitary sewer systems based on conductivity monitoring	Zhang, M. et al	Estudo de caso	2018
11	Pin-pointing groundwater infiltration into urban sewers using chemical tracer in conjunction with physically based optimization model	Zhao, Z. et al	Estudo de caso	2020

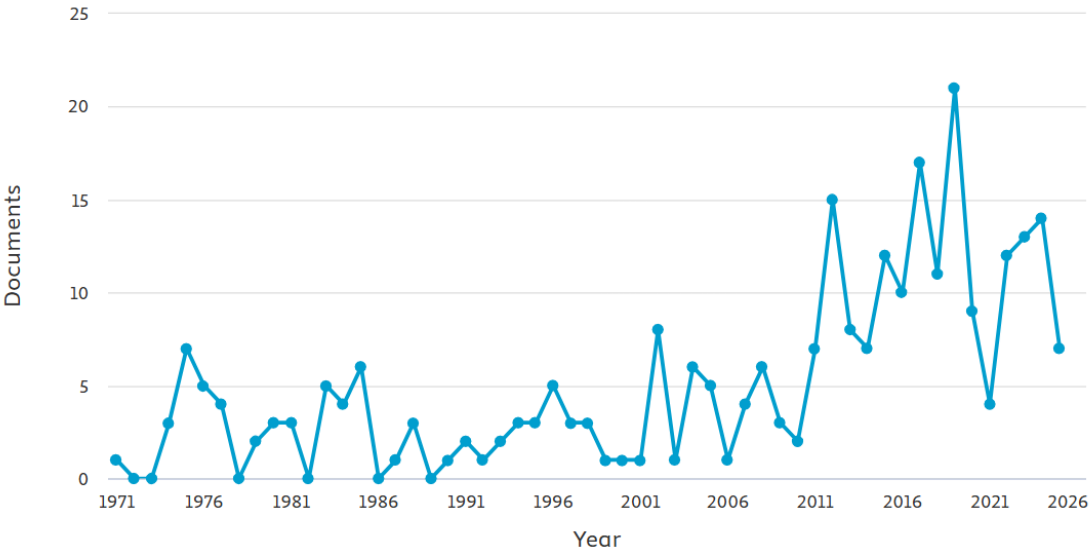
(conclusão)

ID	TÍTULO	AUTORES	TIPO DE ESTUDO	ANO
12	Impact of stormwater infiltration on rainfall-derived inflow and infiltration: A physically based surface–subsurface urban hydrologic model	Zhang, Kun; Parolari, Anthony J.	Estudo de caso	2022
13	Practical Statistical Method to Differentiate Inflow and Infiltration in Sanitary Sewer Systems	Sowby e Jones	Estudo de caso	2022
14	Estimativa da infiltração e do afluxo devido à precipitação pluviométrica em uma bacia de esgotamento sanitário em região costeira	BROERING, Saman Belizario.	Estudo de caso	2023

Fonte: Elaboração própria.

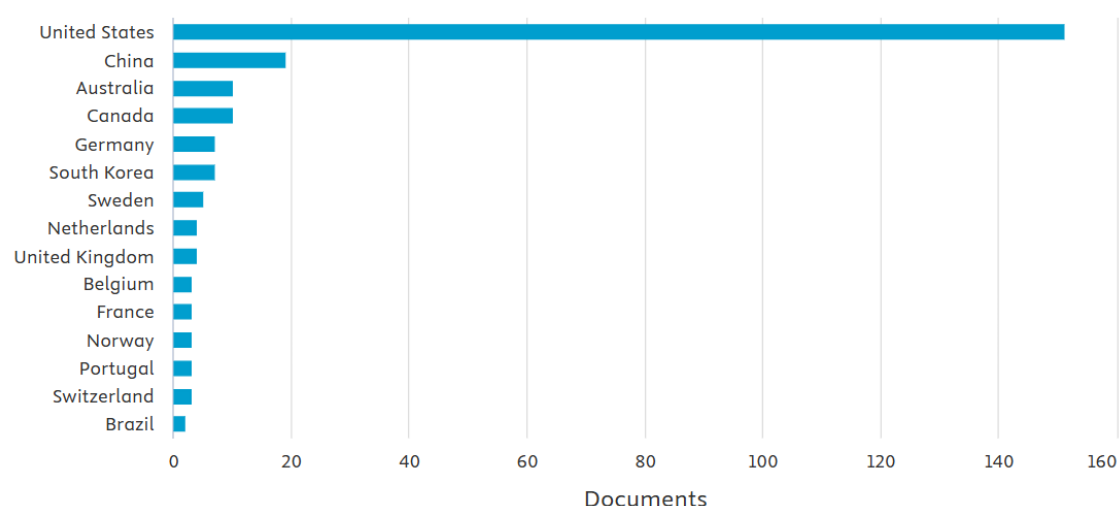
Através de uma revisão sistemática da literatura, em buscas realizadas nas bases de dados Scopus, Science Direct e Web of Science, ficou evidenciada a necessidade de avanço nessa área de pesquisa, com poucas publicações sobre o tema nos últimos anos, conforme gráfico apresentado na Figura 6. As palavras chaves escolhidas para a busca foram “infiltration”, “inflow” e “sewer system”. Na Figura 7 é apresentado um destaque do total de artigos publicados por países com mais publicações relacionadas ao tema.

Figura 6 - Produção científica sobre infiltração e afluxo à rede coletora de esgoto nos últimos 50 anos.



Fonte: Scopus, 2025.

Figura 7 - Total de artigos produzidos por países que mais publicaram.



Fonte: Scopus, 2025.

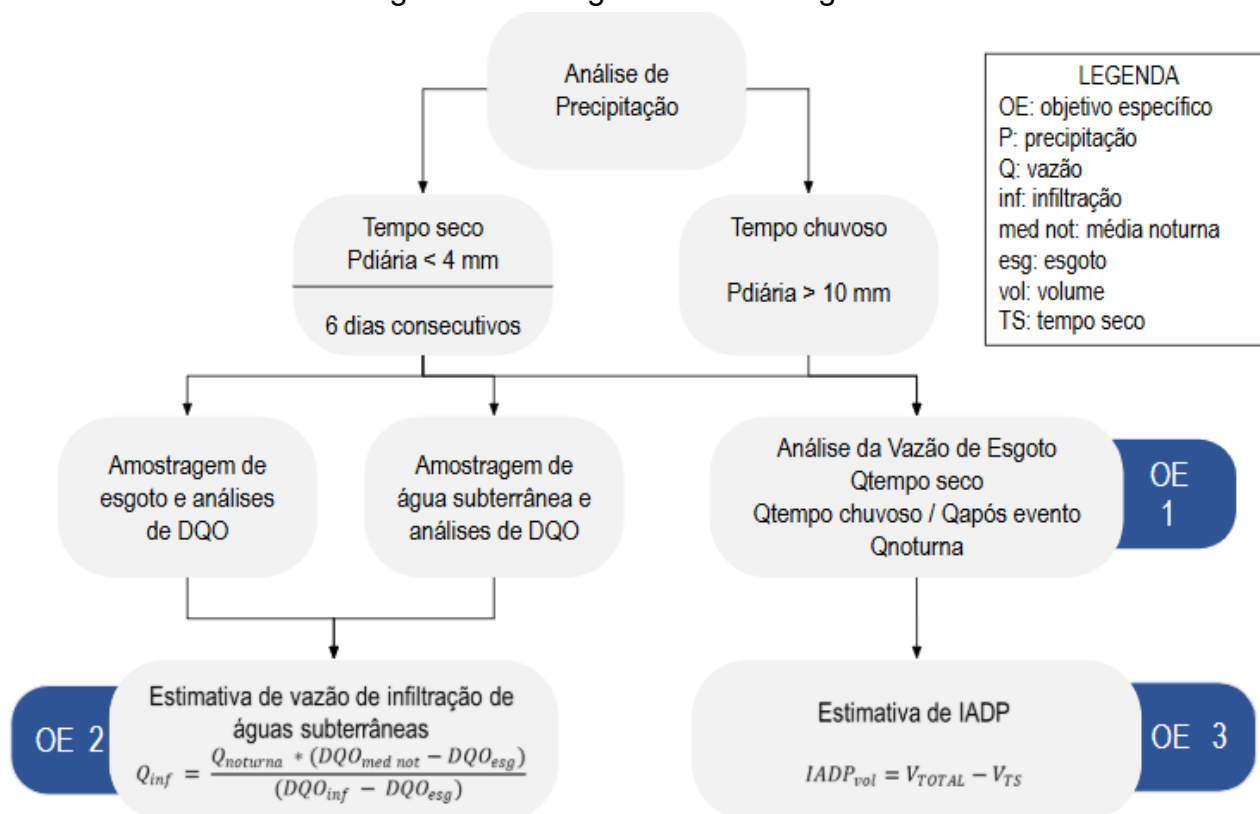
Foram identificados 276 artigos no total, com uma tendência de aumento no número de publicações por ano a partir de 2012 até 2020 e redução nos anos de pandemias (2021 e 2022).

Os Estados Unidos se destacam pelo número de publicações, com um total de 151 documentos na base Scopus relacionados ao tema, seguido da China com 19 publicações e Austrália e Canadá com 10 publicados, enquanto que o Brasil possui apenas 2 publicações até a metade de 2025.

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho pode ser sintetizada no fluxograma apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma metodológico.

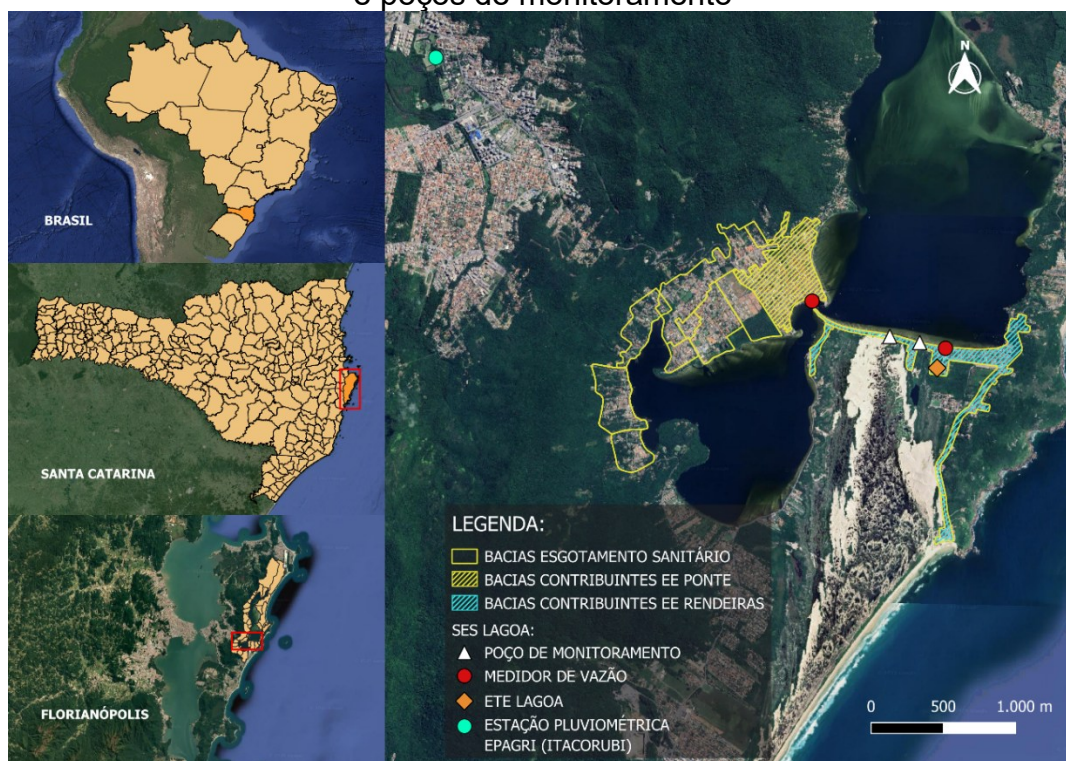


Fonte: a autora.

O sistema de esgotamento sanitário da Lagoa da Conceição está localizado no bairro Lagoa da Conceição, no município de Florianópolis em Santa Catarina. A rede coletora abrange o atendimento do centro do bairro, a localidade do Canto da Lagoa, o entorno da Avenida das Rendeiras até a praia da Joaquina, além de um trecho da Avenida Vereador Osni Ortiga. O Sistema de Esgotamento Sanitário é composto por aproximadamente 39 km de rede coletora de esgoto assentada e 11 estações elevatórias em operação. Foram instalados dois macromedidores com a finalidade de medir a vazão em dois subsistemas para identificar o impacto das precipitações na operação do SES.

Na Figura 9 apresenta-se a área abrangida pela rede coletora do SES Lagoa da Conceição, as áreas de contribuição do subsistema dos dois macromedidores, a localização dos macromedidores, do pluviômetro e da Estação de Tratamento de Esgoto, bem como a localização dos poços de monitoramento em que foram feitas coletas de águas subterrâneas. Já na Figura 10 estão representados além das unidades descritas na Figura 9, a projeção das sub bacias hidrográficas.

Figura 9 - Área de abrangência do SES Lagoa da Conceição, subsistemas avaliados, localização dos medidores de vazão, da estação pluviométrica, ETE e poços de monitoramento



Fonte: Grupo de Trabalho do LAUTEC

Figura 10 - Sub bacias hidrográficas e bacias de esgoto do SES Lagoa da Conceição.

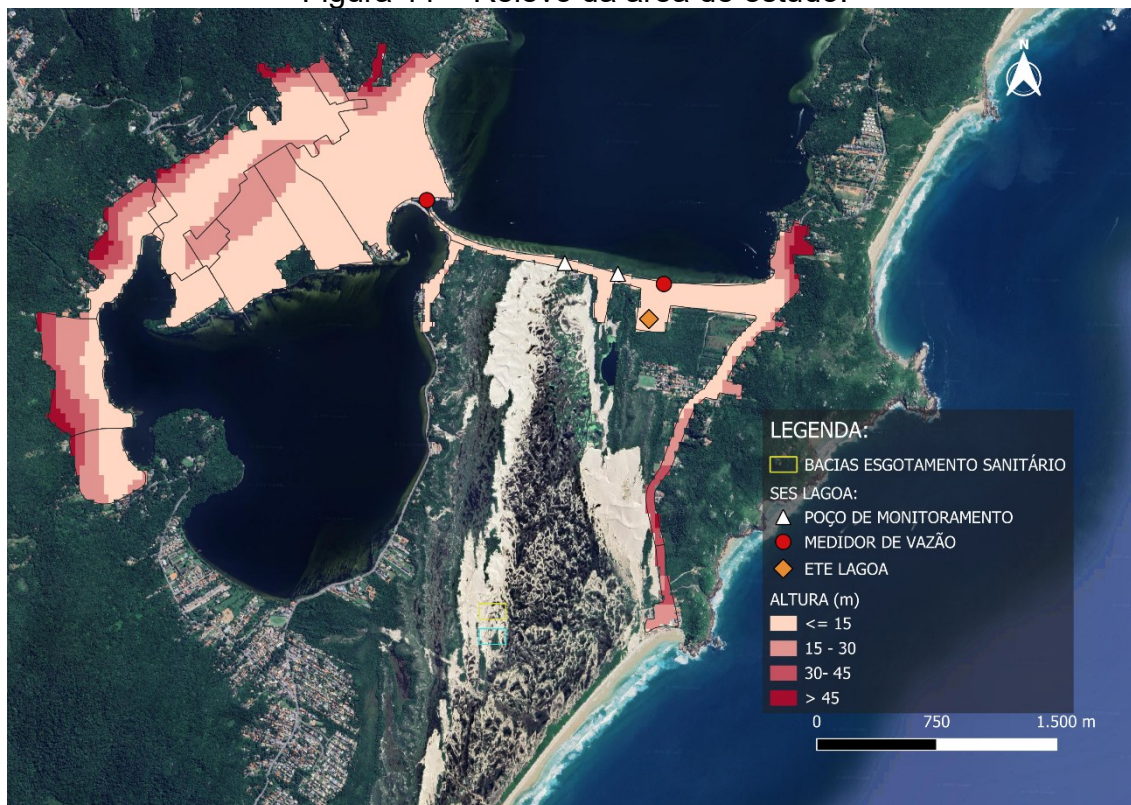


Fonte: Grupo de Trabalho do LAUTEC.

Conforme dados de projeto e sondagens da CASAN, a profundidade do lençol freático se situa entre 0,8 m a 1,5 m com rede coletora assentada em profundidades variando de 0,26 m a 3,75 m na bacia do subsistema Rendeiras, enquanto que na bacia do subsistema Ponte o nível do lençol freático varia entre 0,91 a 2,5 m com profundidade da rede coletora entre 0,25 m a 2,7 metros. Observa-se que as profundidades mínimas da rede coletora estão abaixo do recobrimento mínimo recomendado por norma, o que é um ponto de atenção, pois nestes trechos a integridade da tubulação pode estar comprometida, uma vez que o recobrimento tem a função de absorver a carga de veículos pesados sobre o pavimento. Possivelmente as profundidades são rasas por se tratar de rede muito antiga na qual as caixas de inspeção domiciliares eram interligadas uma nas outras, através de sistema condominial, desta forma as ligações domiciliares passam a operar como trecho de rede coletora.

Na Figura 11 é apresentado o relevo da área de estudo, em que observa-se que o relevo das bacias do sistema de esgotamento sanitário da Lagoa da Conceição caracteriza-se por contrastes entre áreas baixas e morros circundantes. As porções próximas à lagoa apresentam altitudes predominantemente inferiores a 15 m, correspondendo a planícies costeiras e terrenos de baixada onde se concentram a ocupação urbana e grande parte da infraestrutura sanitária. Em direção às bordas das bacias, especialmente nas porções oeste e leste, o terreno eleva-se em encostas íngremes, alcançando faixas altimétricas superiores a 45 m. Essas elevações constituem os divisores naturais das bacias. Observa-se que a ETE Lagoa está localizada em área de menor cota altimétrica, o que significa menor necessidade de bombeamento do esgoto.

Figura 11 – Relevo da área de estudo.



Fonte: Grupo de Trabalho do LAUTEC.

Na Figura 12 estão apresentadas as características litológicas da área de estudo. A litologia local compreende três unidades principais: sedimentos arenosos (areia), gnaiss quartzo-feldspático e granito. Os depósitos arenosos predominam nas áreas de baixa altitude, formando extensas planícies costeiras e faixas marginais da Lagoa da Conceição (especialmente na porção leste); o gnaiss quartzo-feldspático aflora amplamente nos morros e encostas circundantes (notadamente nos setores oeste e norte); já os corpos graníticos ocorrem de forma mais localizada. Nas áreas arenosas, de elevada permeabilidade, a percolação de água é favorecida, resultando em lençol freático raso e maior potencial de entrada de águas subterrâneas no sistema de esgotamento sanitário (em caso de falhas de estanqueidade nas tubulações). Por outro lado, as formações de gnaiss e granito, de baixa porosidade primária, restringem a infiltração direta, de modo que o escoamento superficial predomina e o aporte de águas indevidas limita-se principalmente às fraturas do maciço rochoso.

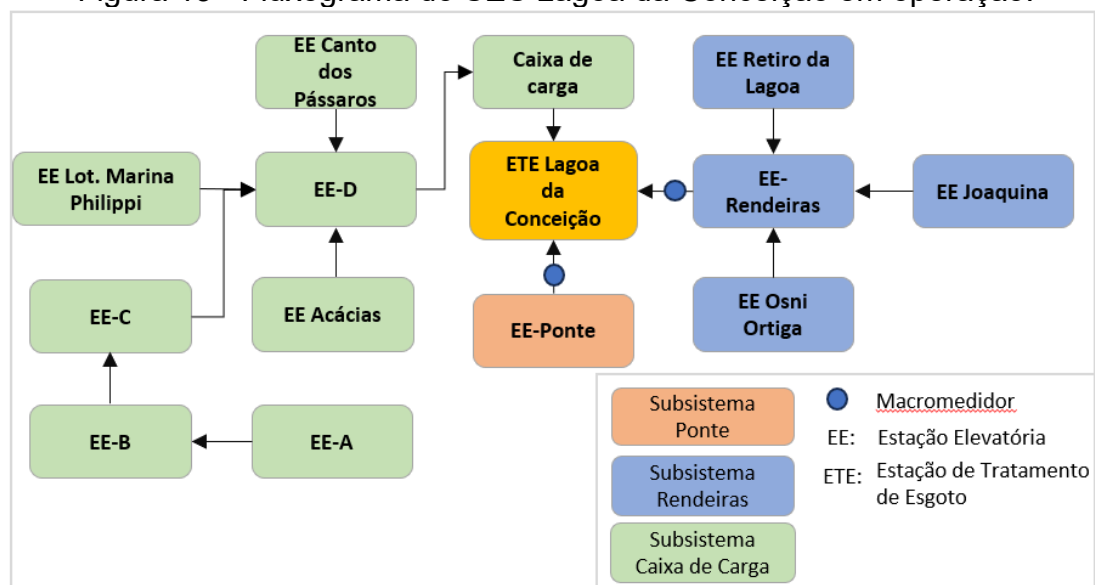
Figura 12 – Características do solo da área de estudo.



Fonte: Grupo de Trabalho do LAUTEC.

O fluxograma de funcionamento do sistema de esgotamento sanitário é representado na Figura 13. Os macromedidores foram instalados em trechos não enterrados da tubulação que compõe o SES. Os dois subsistemas monitorados pelos medidores foram chamados de Subsistema Rendeiras e Subsistema Ponte.

Figura 13 - Fluxograma do SES Lagoa da Conceição em operação.

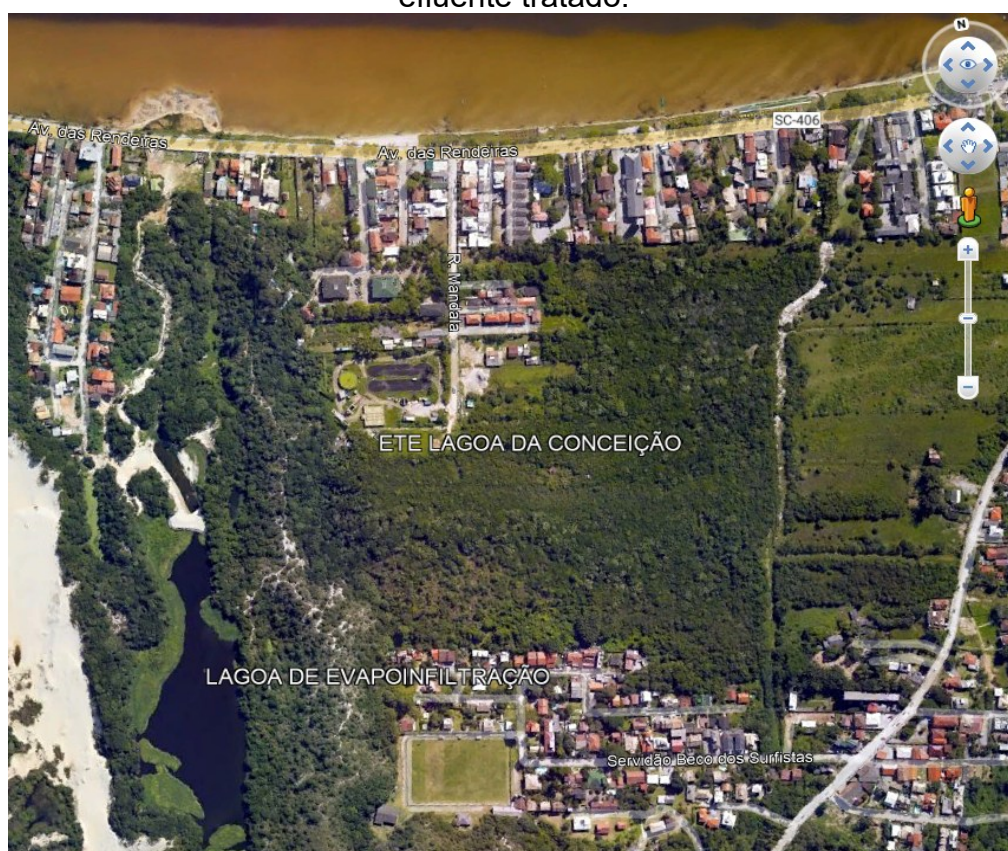


Fonte: Elaboração própria.

A ETE Lagoa da Conceição possui capacidade de tratamento de 50 L/s de vazão média, e vem operando com vazão média mensal de 29,4 L/s, segundo dados operacionais da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento, recebendo a contribuição de 4.904 unidades autônomas, no ano de 2024.

O sistema de tratamento é composto pelas seguintes etapas: gradeamento, caixa de areia, reator UASB, valo de oxidação, decantador secundário e tratamento terciário para remoção de nutrientes. Após este processo o efluente tratado é recalcado para disposição final em uma Lagoa de Evapoinfiltração (Figura 14), próxima a área da ETE.

Figura 14 - Localização da ETE Lagoa da Conceição e disposição final do efluente tratado.



Fonte: Google Earth, 2024.

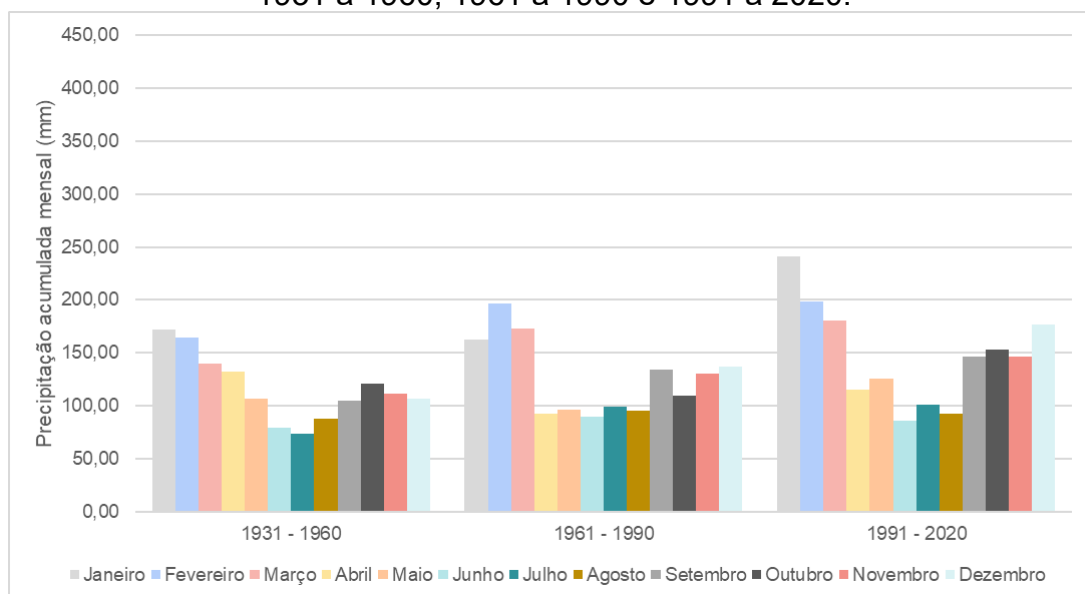
3.1.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

A área da Lagoa da Conceição, em Florianópolis (SC), está situada em um clima **subtropical úmido (Cfa, segundo Köppen–Geiger)**, típico da baixada litorânea do estado, caracterizado por verões quentes e úmidos, invernos amenos e precipitação bem distribuída ao longo do ano. Conforme

dados climáticos fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2025) relativos ao período 1991–2020, a temperatura máxima média anual é de **25,4 °C**, a temperatura média compensada anual é de **21,1 °C** e a temperatura mínima média anual fica em torno de **17,6 °C**. No que diz respeito à precipitação, os valores médios anuais atingem **1.766 mm**, com os maiores acumulados concentrados nos meses de verão (janeiro e fevereiro), enquanto os meses mais secos registram precipitações entre 86 mm e 115 mm.

De acordo com dados do INMET, a normal climatológica da Estação Florianópolis do INMET, código SC - 83897, que está localizada na Latitude 27° 36' 09,16"S e Longitude 48°37'13,02"W é representada pela Figura 15.

Figura 15 - Normal climatológica Estação Florianópolis para os períodos de 1931 a 1960, 1961 a 1990 e 1991 a 2020.



Fonte: INMET, 2025.

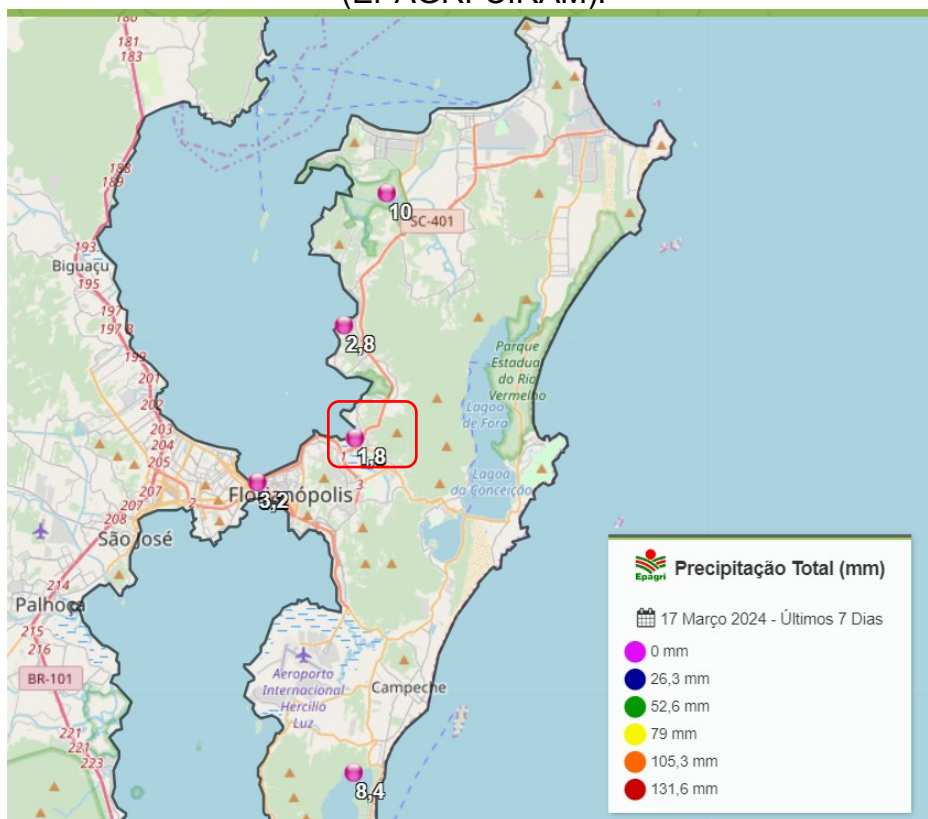
Disponível em: portal.inmet.gov.br/

3.2 COLETA DE DADOS DE PRECIPITAÇÃO

Durante o período de monitoramento do projeto, os dados de precipitação utilizados foram obtidos por meio do pluviômetro da EPAGRI-CIRAM, localizado no bairro Itacorubi (Figura 16), por se tratar da estação meteorológica com maior proximidade e regularidade de registros em relação à área de estudo, situada na Lagoa da Conceição. A escolha desse ponto de coleta se deu em virtude da ausência de estação pluviométrica com cobertura temporal

compatível na bacia de contribuição direta do sistema de esgotamento sanitário analisado.

Figura 16 - Localização da estação de monitoramento de precipitação (EPAGRI-CIRAM).



Fonte: Disponível em <https://ciram.epagri.sc.gov.br/agroconnect> Acessado em: 15/03/2024.

A estação fornece dados de precipitação a cada 60 minutos. A partir do dado bruto de precipitação horária, esses dados foram tratados por rotina Python para cálculo da precipitação total diária para o período analisado. Para a precipitação diária foram considerados os dados de precipitação horária registrados entre 01:00h de um dia e 00:00h do dia seguinte. Isso porque a precipitação informada às 00:00h representa o total acumulado entre as 23:00h e as 00:00h. Desta maneira, ao somar os valores de precipitação entre 01:00h de um dia e 00:00h do dia seguinte, é possível calcular o total de precipitação ocorrido entre as 00:00h de um dia e as 00:00h do dia seguinte.

3.2.1 SELEÇÃO DOS EVENTOS

Para a determinação da infiltração e IADP de cada estação elevatória avaliada, primeiramente foi necessário classificar e selecionar os eventos de tempo seco e tempo chuvoso.

O evento de tempo seco é aquele em que não há influência do afluxo para a determinação da vazão de infiltração constante. Para a seleção dos eventos de tempo seco baseou-se na metodologia de Broering (2023) adaptada de Festi (2006), em que foram selecionados os eventos com períodos com precipitação pluviométrica menor do que 4 mm no dia, por pelo menos seis dias consecutivos. No trabalho de Broering (2023) o evento era considerado seco após sete dias consecutivos, porém na análise do comportamento do sistema de esgoto da Lagoa da Conceição verificou-se que a partir do sexto dia após o evento chuvoso já há pouca influência de afluxo tardio, conforme será detalhado posteriormente na seção de resultados.

Os eventos de tempo seco se situam entre 0 e 4 mm de altura de precipitação, pois o comportamento da rede é pouco influenciado por eventos desta magnitude.

Já para a caracterização de um evento como sendo chuvoso, foi utilizada a metodologia de Metcalf e Eddy (1991) adaptada por Festi (2006), em que um evento é considerado chuvoso significativo quando a precipitação total diária for superior a 10 mm.

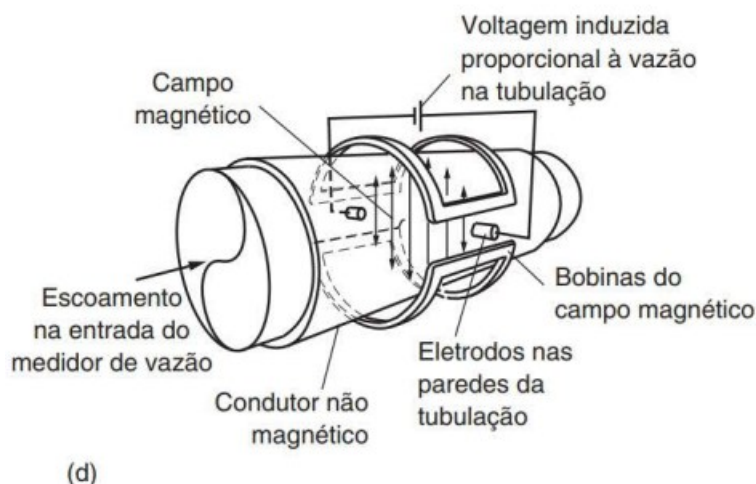
3.3 MONITORAMENTO DA VAZÃO DE ESGOTO

Para a medição da vazão de bombeamento das estações elevatórias, foram adquiridos para este projeto dois macromedidores de vazão do tipo eletromagnético da marca Conaut, modelo WATERFLUX 3050W, com certificado de rastreabilidade e com precisão de $\pm 0,5\%$ do valor medido, conforme informações do fabricante (CONAUT, 2021).

Os medidores de vazão eletromagnético, conforme informações do fabricante, tem como princípio de funcionamento a lei de Faraday, que se baseia na geração de diferença de potencial elétrico em qualquer meio condutor que se desloque no espaço em um campo magnético, ou seja, o movimento do líquido através do campo magnético induz uma força eletromotriz que atravessa o

líquido num sentido perpendicular ao campo magnético, e esta força é diretamente proporcional a velocidade de escoamento do fluido. A vazão de escoamento é então determinada a partir dos dados de velocidade e área interna da tubulação, conforme representado na Figura 17.

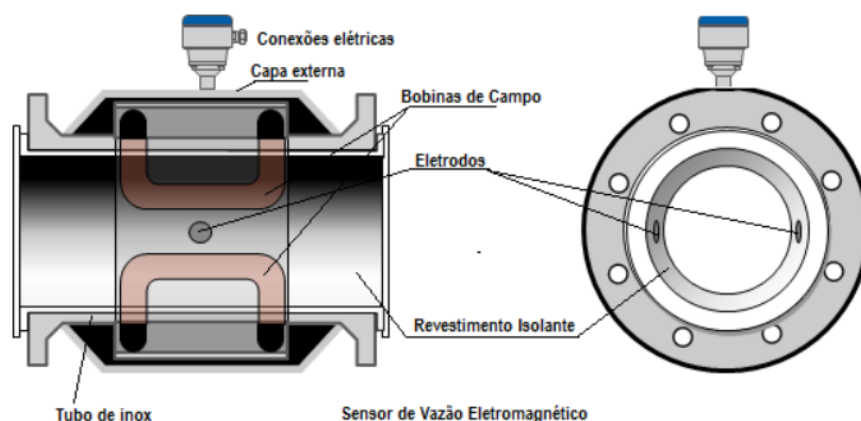
Figura 17 - Esquema de funcionamento de medidor de vazão eletromagnético.



Fonte: Metcalf e Eddy (2016).

Na Figura 18 apresenta-se um esquema de construção do medidor de vazão eletromagnético.

Figura 18 - Esquema de construção de um medidor de vazão eletromagnético.



Fonte: Disponível em conaut.com.br. Acessado em 09/05/2024.

Após visitas técnicas realizadas em conjunto com os técnicos da operadora de saneamento, foram definidos os melhores locais para instalação dos macromedidores, que foram adquiridos em julho de 2023, e a partir de

setembro do mesmo ano, após a devida instalação, passaram a transmitir os dados de medição de vazão ao sistema supervisorio da Companhia.

O primeiro medidor de vazão eletromagnético com diâmetro de 200mm foi instalado na Estação Elevatória (EE) B01, também conhecida como Elevatória da Ponte (Figura 19 (a)), localizada ao lado direito da entrada da ponte que interconecta a Rua Henrique Veras com a Avenida das Rendeiras. Esta estação elevatória recebe a contribuição da bacia central, além de vazão concentrada do condomínio Marina Phillipi. O efluente coletado por esta estação elevatória é então recalcado através de um emissário terrestre até a entrada do tratamento preliminar da ETE. Nas Figura 19 (b) e (c) apresentam-se o medidor, que foi instalado com o apoio da equipe técnica da CASAN, na cabeceira da Ponte da Lagoa e a caixa metálica fabricada para proteger o equipamento.

Figura 19- Estação Elevatória da Ponte (a), instalação do medidor na linha de recalque (b) e caixa metálica de proteção do macromedidor (c).

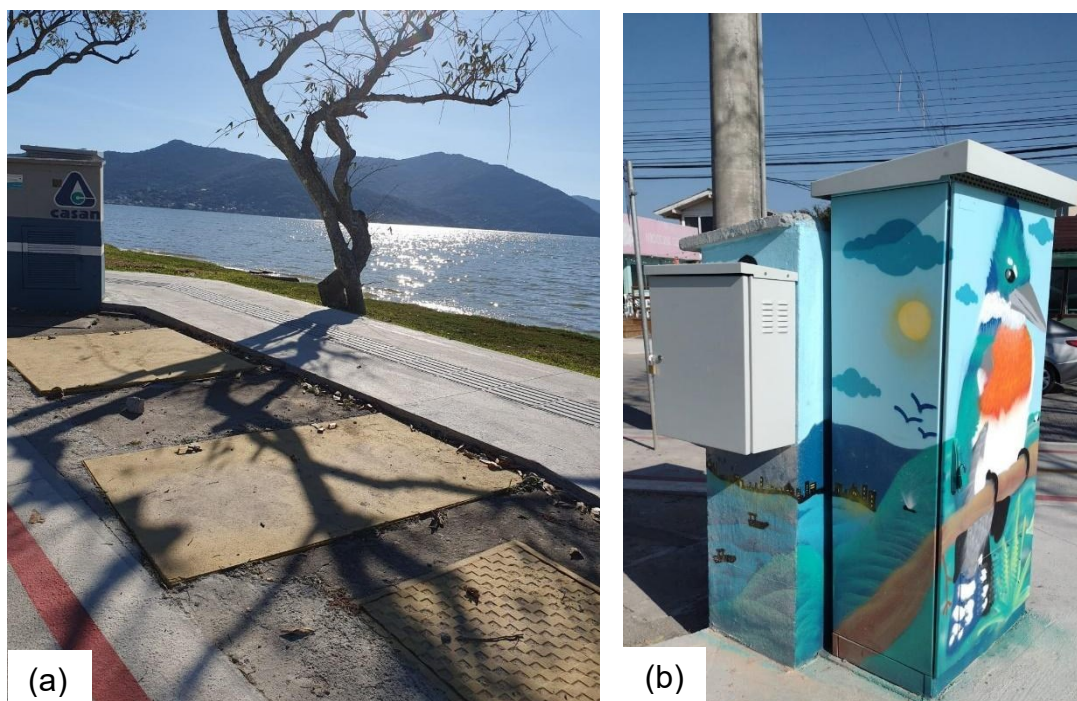


Fonte: a autora.

O segundo medidor de vazão eletromagnético, com diâmetro de 150 mm, foi instalado na Estação Elevatória EE-B02 (Figura 20 (a)), também conhecida como elevatória das Rendeiras, que está localizada na Avenida das Rendeiras, próxima a entrada da rua Mandala, que é a rua da ETE. Na Figura 20 (b) é possível observar a caixa instalada na lateral do quadro de comando da EE das Rendeiras, onde foi instalado o painel de leitura de vazão do macromedidor. Esta estação elevatória recebe as contribuições da rede

existente na Avenida Osni Ortiga, da Avenida das Rendeiras e suas ruas transversais, além das contribuições da Praia da Joaquina e da rede existente na Avenida Prefeito Acácio Garibaldi.

Figura 20 - Estação Elevatória das Rendeiras (EE-B02) (a) e caixa do painel de leitura do macromedidor (b)



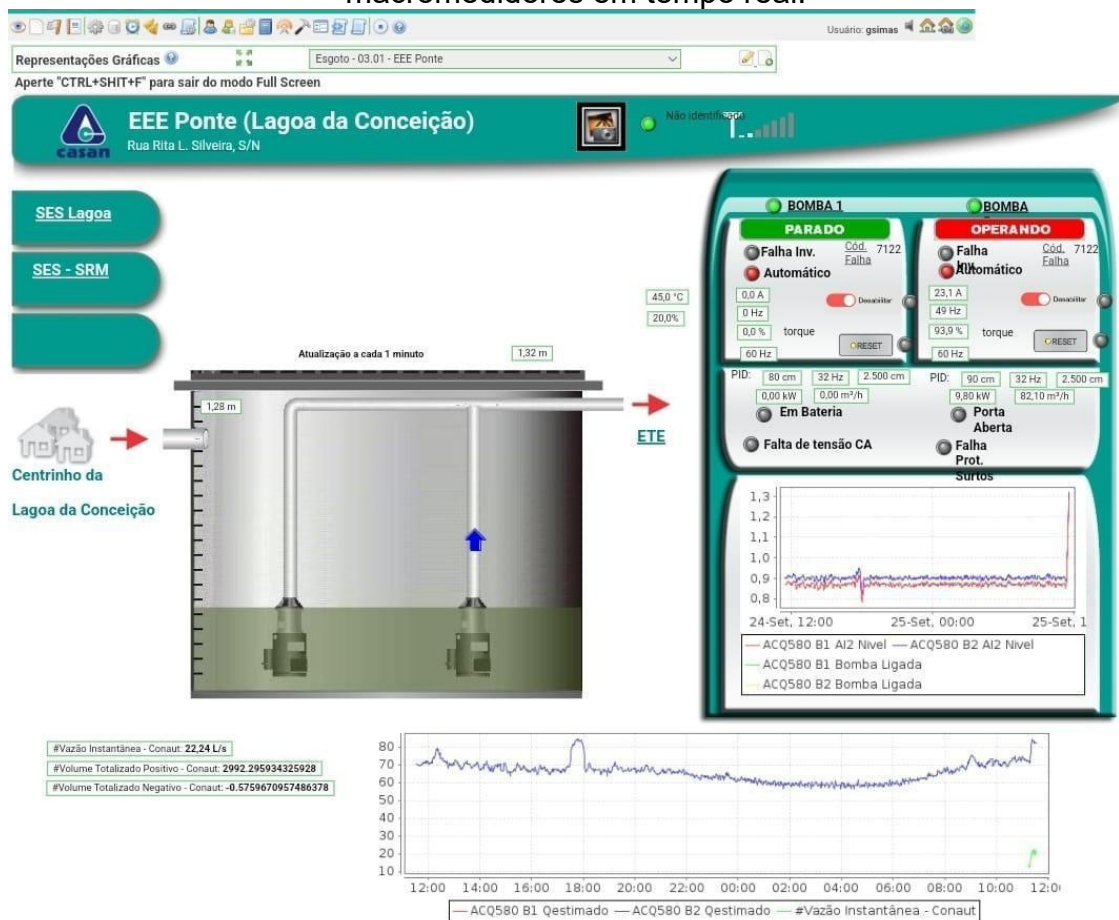
Fonte: a autora.

O monitoramento da vazão de esgoto iniciou em setembro de 2023 e se estendeu, para o presente trabalho, até setembro de 2024.

Os dados de vazão das elevatórias são monitorados através do sistema supervisorio da CASAN, conforme ilustrado na Figura 21. Os macromedidores transmitem dados de vazão de minuto a minuto para o sistema de monitoramento. Além disso, ambas estações elevatórias possuem inversores de frequência com controle PID (Controlador Proporcional Integrativo e Derivativo).

Para esta pesquisa foi desenvolvida uma rotina em PythonTM para avaliação horária e diária do comportamento das estações. Para isso os dados brutos de vazão instantânea medida minuto a minuto foram convertidos em vazões e volumes horários e diários.

Figura 21 - Sistema supervisorio da CASAN com informações das vazões dos macromedidores em tempo real.



Fonte: Sistema Supervisorio da CASAN.

3.4 DETERMINAÇÃO DA PARCELA DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

A determinação da contribuição por infiltração no sistema de esgoto foi realizada através da metodologia das vazões mínimas noturnas, proposta por Hanai e Campos (1997) e adaptada por Lamin e Sezerino (2012). Neste método a vazão de infiltração é obtida a partir da concentração média de esgoto no período noturno ($DQO_{média}$), considerando que a carga de esgoto do período noturno é a média ponderada entre a carga de esgoto doméstico e a carga de infiltração, conforme já havia sido apresentado na Equação 1, que é reapresentada a seguir. Considerando que a vazão mínima noturna é a soma das parcelas de vazão de esgoto mais a vazão de infiltração, é possível isolar o termo vazão de infiltração, conforme apresentado na Equação 4.

Para o cálculo da concentração média de esgoto no período de menor vazão e no período de maior vazão do dia, foram utilizados os dados das coletas de esgoto entre 3h e 6h, e entre 9h e 13h, uma vez que foram identificados através das medições de vazão do sistema que estes são os horários de menor e maior vazão, conforme será melhor detalhado no item 4.4.

$$DQO_{med\ not} = \frac{(Q_{esg} * DQO_{esg}) + (Q_{inf} * DQO_{inf})}{(Q_{esg} + Q_{inf})} \quad (1)$$

Sendo:

$DQO_{med\ not}$: a concentração média de esgoto no período entre 3h e 6h da manhã;

Q_{esg} : vazão de esgoto (L/s);

DQO_{esg} : concentração média do esgoto no período diurno de maior vazão (entre 9h e 13h) (mg/L);

Q_{inf} : vazão de infiltração (L/s);

DQO_{inf} : concentração das águas de infiltração (mg/L);

Considerando que:

$$Q_{noturna} = Q_{esg} + Q_{inf} \quad (4)$$

Sendo:

$Q_{noturna}$: mínima vazão média horária noturna (L/s);

Q_{esg} : vazão de esgoto (L/s);

Q_{inf} : vazão de infiltração (L/s).

A equação 1 pode ser reescrita da seguinte forma, conforme apresentado na Equação 5:

$$DQO_{med\ not} = \frac{([Q_{noturna} - Q_{inf}] * DQO_{esg}) + (Q_{inf} * DQO_{inf})}{Q_{noturna}} \quad (5)$$

Isolando a vazão de infiltração, a equação final será conforme a Equação 6:

$$Q_{inf} = \frac{Q_{noturna} * (DQO_{med\ not} - DQO_{esg})}{(DQO_{inf} - DQO_{esg})} \quad (6)$$

Sendo:

Q_{inf} : vazão de infiltração (L/s);

Q_{noturna} : mínima vazão média horária noturna (L/s)

$DQO_{\text{med not}}$: a concentração média de esgoto no período noturno de menor vazão (entre 3h e 6h) (mg/L);

DQO_{esg} : concentração média do esgoto no período diurno de maior vazão (entre 9h e 13h) (mg/L);

DQO_{inf} : concentração das águas de infiltração - média do valor medido em água de 3 poços instalados na região do sistema (mg/L).

Com o valor da vazão de infiltração e a extensão de rede coletora dos subsistemas, foi determinada a taxa de infiltração a partir da Equação 7.

$$i = \frac{Q_{\text{inf}}}{L} \quad (7)$$

Onde

i : taxa de infiltração (L/s.Km);

Q_{inf} : Vazão de infiltração (L/s);

L : extensão total de rede coletora (Km).

A concentração de DQO nas águas de infiltração foi considerada como sendo a mesma encontrada nas águas subterrâneas da região. Foram colhidas amostras em 3 poços de monitoramento da região de implantação do sistema, localizados na Avenida das Rendeiras, conforme apresentado na Figura 9.

3.4.1 Amostragem para caracterização da DQO do Esgoto

A precipitação pluviométrica foi acompanhada diariamente para a identificação dos eventos de tempo seco, ou seja, período de no mínimo seis dias consecutivos com precipitação diária inferior a 4 mm. A partir da ocorrência destas condições foram realizadas três campanhas de coleta de amostras de esgoto nos períodos de maiores vazões e de menores vazões ao longo do dia.

Foram identificados através das medições de vazão do sistema que os horários de maior vazão ocorrem entre 9h e 13h e os horários de menor vazão ocorrem entre 3h e 6h. As amostras para caracterização da DQO foram coletadas nestes horários.

Foram realizadas três campanhas de amostragens com coletas horárias de amostras de esgoto nos dias 07/06, 26/07 e 20/08/2024.

As amostras foram coletadas no poço de chegada das duas estações elevatórias em frascos graduados de vidro borossilicato de 100 mL, acondicionadas em caixa térmica com gelo e levadas para o refrigerador do Laboratório de Hidráulica da UFSC. As análises de DQO foram realizadas pelo Laboratório Integrado de Meio Ambiente LIMA, do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, da UFSC. O método de análise foi o de refluxo fechado feito em triplicata de acordo com o Standard Methods (2017).

Para a realização das três campanhas de análises foram necessários os seguintes materiais:

- kits de análise de DQO de alta concentração.
- frascos graduados de vidro borossilicato 3.3 de 100 mL, com tampa de rosca anti-gotas, autoclavável a 121°C.
- caixas de isopor de 7L (para transporte de amostra);
- placas de gelo artificial em gel - 200 mL;
- marcador permanente - cor preta;
- caixa de luva de látex descartável, tamanho M;
- baldes de plástico com alça plástica - 3 L;
- cordas trançadas 6 mm - 5 m.

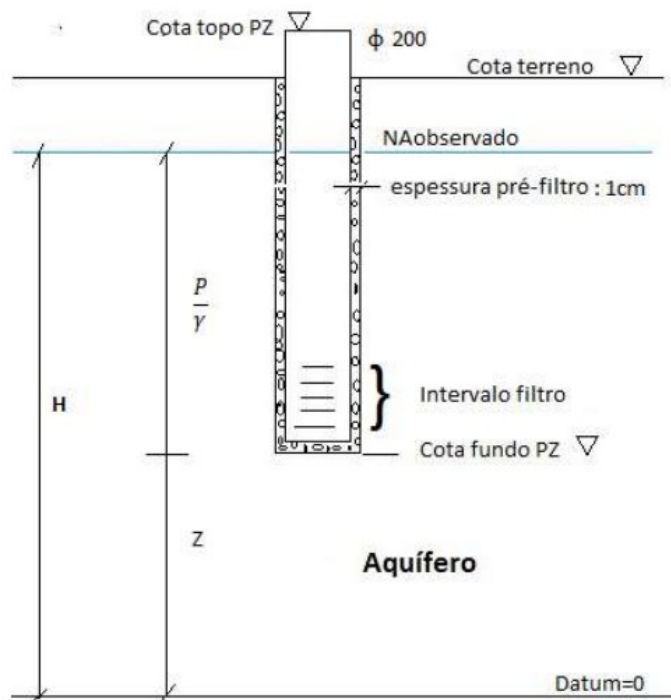
3.4.2 Amostragem para caracterização da DQO da Infiltração

Para caracterizar a concentração da parcela de infiltração que contribui para o SES, no mesmo período em que foram realizadas duas amostragens de coleta de esgoto, também foram coletadas amostras de água subterrânea em três poços de monitoramento da CASAN instalados na Lagoa da Conceição, conforme apresentado na Figura 9.

Os piezômetros foram instalados como parte da pesquisa realizada por Santos (2018) e conforme dados da autora estes estão parcialmente inseridos no aquífero e os filtros foram instalados em uma única porção do piezômetro (tipo simples). Os piezômetros são em material PVC de diâmetro 200 mm, e o pré-filtro possui 1 cm de espessura lateral, o comprimento do filtro com ranhuras

de 0,75mm varia entre 1 e 3m. Na Figura 22 está representado o perfil dos piezômetros utilizados para as coletas.

Figura 22 - Perfil dos poços de monitoramento da CASAN utilizados para coleta de águas subterrâneas.



Fonte: Santos, 2018.

As amostras de água nos piezômetros foram coletadas através de bailer de aço, após purga.

As amostras foram condicionadas em frascos previamente preparados e mantidas nas térmicas com gelo e posteriormente encaminhadas para o LIMA para a análise de DQO, seguindo o método descrito para as amostras de esgoto.

Cada análise foi realizada em triplicata, utilizando 2,5 mL de amostra por réplica. Assim, foram utilizados 7,5 mL no total para cada amostra.

O método adotado para a DQO seguiu a técnica de digestão ácida em cromato de potássio. Este processo envolve a oxidação química da matéria orgânica presente na amostra, convertendo-a em produtos oxidados que podem ser posteriormente medidos.

Para evitar a influência do íon cloreto na concentração de DQO, as amostras foram diluídas quando necessário.

3.5 DETERMINAÇÃO DA INFILTRAÇÃO E AFLUXO DEVIDO À PRECIPITAÇÃO (IADP)

Após a seleção dos eventos de tempo chuvoso precedidos de um evento de tempo seco, conforme descrito anteriormente, a quantificação da infiltração e afluxo devido à precipitação foi realizada conforme metodologia aplicada por Lamin e Sezerino (2012), adaptada de Metcalf e Eddy (1991), descrita na seção 2.3 da revisão bibliográfica. Neste método a parcela de afluxo devido à precipitação é dada pela diferença do volume acumulado em tempo chuvoso e o volume acumulado em tempo seco, conforme apresentado na Equação 2.

$$IADP_{vol} = V_{TOTAL} - V_{TS} \quad (2)$$

Onde:

$IADP_{vol}$: volume de IADP no dia do evento (m³).

V_{TOTAL} : volume de esgoto acumulado no dia de chuva significativa (m³).

V_{TS} : volume médio de esgoto dos últimos 3 dias, antes do evento chuvoso (m³).

O volume diário de esgoto bombeado foi obtido a partir das vazões bombeadas ao longo das 24 horas de cada dia. A partir da definição dos eventos de tempo seco e chuvoso foi aplicada a fórmula para o cálculo da IADP para os diferentes eventos. Na qual determinou-se o volume total de IADP que contribuiu para o SES no dia chuvoso selecionado.

4 RESULTADOS

A análise dos resultados obtidos nesta pesquisa visa compreender a magnitude e os padrões de comportamento da infiltração de águas subterrâneas e do afluxo devido à precipitação (IADP) em dois subsistemas de esgotamento sanitário da Lagoa da Conceição, com base em dados reais de operação. A partir de medições instantâneas de vazões nas 2 estações elevatórias, associadas a dados pluviométricos diários, foram aplicadas metodologias para quantificação das parcelas de contribuição indevida. Nesta seção são apresentados os resultados da aplicação dessas metodologias, as análises do comportamento do

sistema de esgoto de acordo com a precipitação e comparação dos achados com valores de referência da literatura.

4.1 COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO

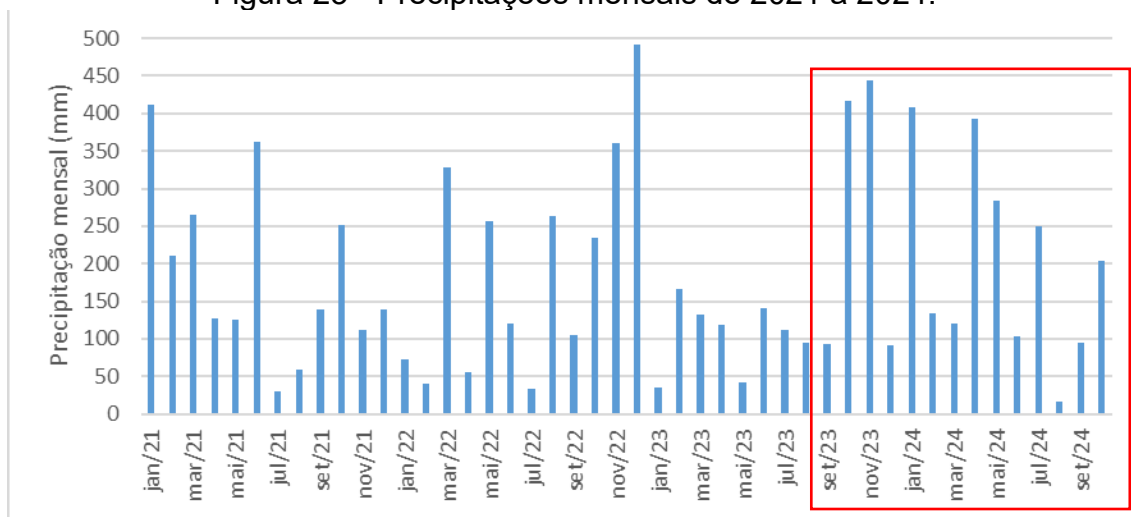
Os dados de precipitação da estação EPAGRI-CIRAM Itacorubi, foram inicialmente avaliados em termos de permanência em relação aos 3 últimos anos. O acumulado mensal para os anos de 2021 a 2024 é apresentado na Tabela 4 e Figura 23. Também é apresentado na tabela, a normal climatológica da estação INMET Florianópolis para os anos de 1991 a 2020.

Tabela 4 - Precipitação total acumulada mensalmente nos últimos 4 anos – estação da EPAGRI – CETRE – Itacorubi.

Mês/Ano	2021	2022	2023	2024	Normal climatológica INMET (1991-2020)
janeiro	412,4	71,8	35,8	408,6	241,3
fevereiro	209,8	39,4	166,4	133,2	198,3
março	265	328,6	131,4	120,6	180,4
abril	127,4	54,8	118,0	393,0	115,8
maio	124,8	256,2	42,0	284,4	126,2
junho	361,6	119,6	140,2	103,2	86,3
julho	29,6	33,6	111,6	249,6	100,8
agosto	59,8	263,2	94,4	16,6	93,0
setembro	138,4	105,6	93,8	94,2	146,9
outubro	251,6	234,2	416,0	203,2	153,2
novembro	111,6	361,0	444,0	273,4	146,6
dezembro	139,8	492,0	91,2	212,2	177,2
TOTAL	2231,8	2360	1884,8	2492,2	1766,0

Fonte: EPAGRI, CIRAM

Figura 23 - Precipitações mensais de 2021 a 2024.



* Em vermelho, destacado o período que compreende as observações do projeto.

Fonte: EPAGRI, CIRAM.

Durante o período avaliado, ou seja, entre setembro de 2023 e setembro de 2024, os meses mais secos foram setembro e dezembro de 2023, agosto e setembro de 2024. Enquanto que os meses com maiores índices de precipitação acumulada foram outubro e novembro de 2023 e janeiro de 2024. Onde o mês de novembro de 2023 foi o mais chuvoso (precipitação acumulada de 444 mm), e o mês de agosto de 2024 o mais seco (precipitação acumulada de 16,6 mm) do período.

Considerando que a estação pluviométrica utilizada como referência neste trabalho possui dados completos consolidados somente a partir do ano de 2002, a partir dos dados diários de precipitação e temperatura, através de rotina em python foi plotada a normal provisória, considerando os dados disponibilizados pela EPAGRI de janeiro de 2002 até dezembro de 2024.

Normais Provisórias são médias de curto período, com base em observações por um período mínimo de 10 anos de monitoramento. Para se obter a normal provisória inicialmente os dados foram filtrados para que fossem excluídos os períodos com falhas de registro. Foram excluídos os meses sem medições assim como os meses com registros incompletos (Tabela 5).

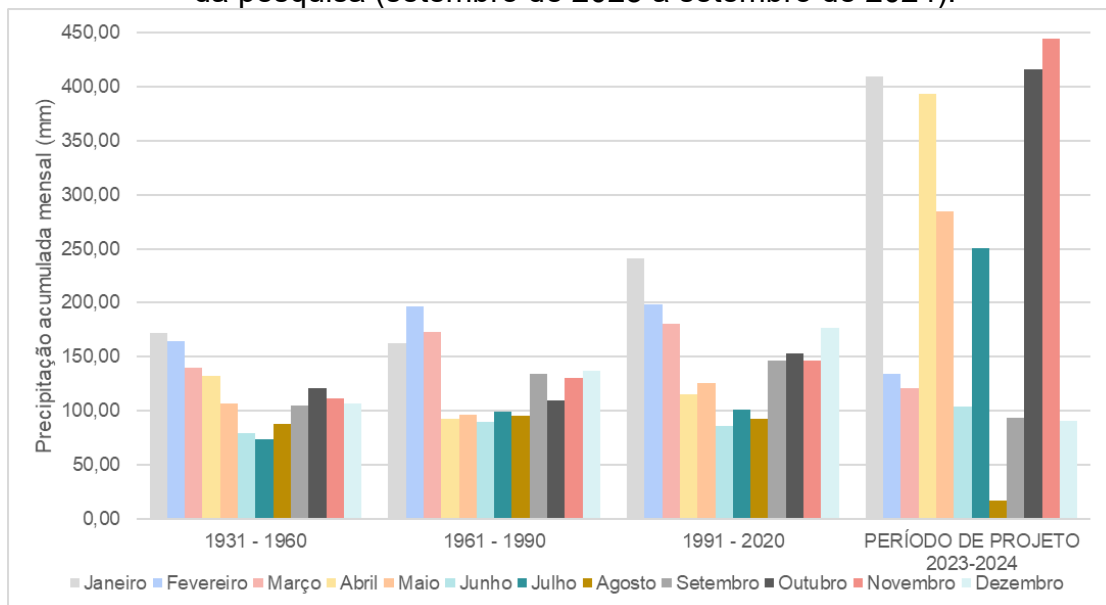
Tabela 5 - Meses descartados após dados filtrados para a análise de normal climatológica provisória do período de 2002 a 2024 do pluviômetro da EPAGRI, localizado no bairro Itacorubi, em Florianópolis.

Meses excluídos após análise dos dados de Jan/2002 a Dez/2024	
Meses inteiros sem dados	Meses com falhas
dez-09	fev-04
mai-10	set-12
jun-10	abr-20
out-12	jan-23
nov-12	
dez-12	
jan-13	
fev-13	
mar-13	
abr-13	

Na Figura 24 estão representadas as normais climatológicas da estação pluviométrica do INMET em comparação com os dados de precipitação da estação pluviométrica da EPAGRI no período avaliado nesta pesquisa, ou seja, de setembro de 2023 a setembro de 2024.

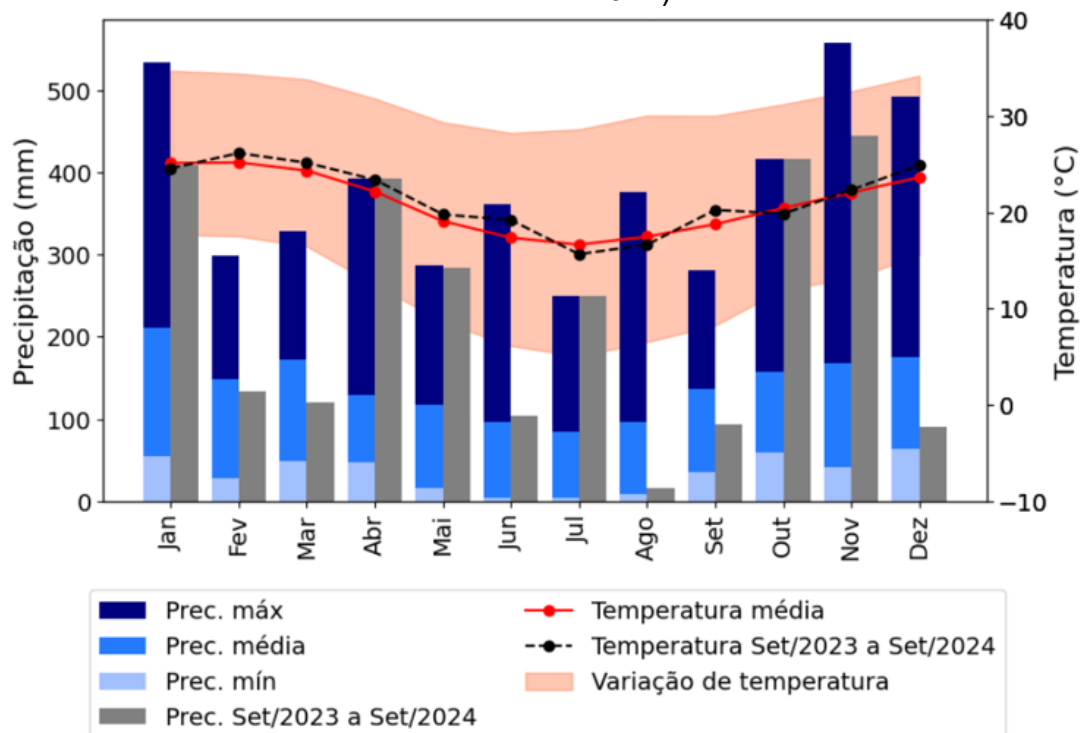
Analisando o gráfico da Figura 24 é possível perceber que as precipitações totais acumuladas nos meses de janeiro, abril, maio, julho, outubro e novembro nos anos da pesquisa foram muito superiores aos valores médios de precipitação das últimas normais climatológicas. Já os meses de fevereiro, março, junho e setembro e dezembro apresentaram comportamento não muito distante das normais climatológicas, enquanto que no mês de agosto de 2024 observa-se uma precipitação total acumulada muito inferior à média das últimas normais climatológicas.

Figura 24 - Normal climatológica de precipitação do INMET em comparação com os dados de precipitação acumulada da estação da EPAGRI no período da pesquisa (setembro de 2023 a setembro de 2024).



Na Figura 25 está representado o resultado da normal provisória do período de 2002 até 2024, em comparação com os dados de precipitação e temperatura do período avaliado nesta pesquisa.

Figura 25 - Normal provisória de precipitação e temperatura (2002 a 2024) em comparação com os dados do período da pesquisa (setembro de 2023 a setembro de 2024).



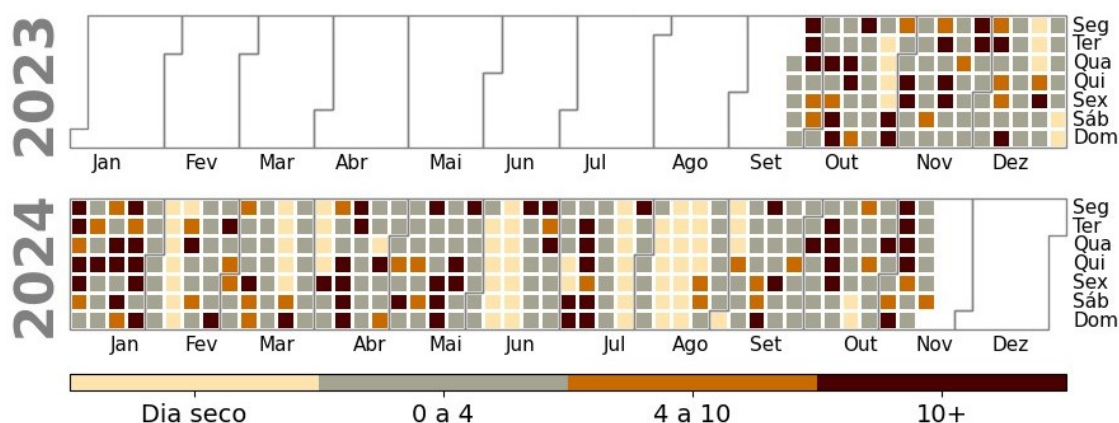
Analisando os dados da Figura 25, é possível perceber que a temperatura média mensal no período analisado se aproximou da normal provisória de temperatura dos últimos 22 anos. Já em relação aos dados de precipitação, observa-se que nos meses de abril, maio, julho de 2024 e outubro de 2023 ocorreram precipitações totais mensais muito próximas aos valores máximos de precipitações totais da normal provisória, indicando um ano de grandes precipitações. Por outro lado, os meses de agosto e de dezembro de 2024 apresentaram precipitações muito próximas da menor precipitação total acumulada dos últimos 22 anos. No geral conclui-se ter se tratado de período com meses com precipitações próximas das máximas registradas na série histórica, ou seja, um período muito úmido.

4.2 CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS

Os dados, disponibilizados em resolução horária e consolidados em totais diários, permitiram a identificação de eventos chuvosos significativos, dias sem chuva e períodos de tempo seco, fundamentais para a separação das diferentes parcelas de contribuições de águas indevidas.

Na Figura 26 é apresentada a classificação dos dias com base na precipitação total diária no período avaliado. Ou seja, os dias em que a precipitação total foi acima de 10 mm, foram classificados como dia chuvoso significativo, os dias com precipitação diária abaixo de 4 mm foram considerados sem chuva, e o período seco foram os dias precedidos de pelo menos 6 dias consecutivos sem chuva.

Figura 26 - Classificação diária de acordo com o total precipitado.



Foram observados 122 dias com precipitação acima de 4mm, sendo destes, 80 com precipitação acima de 10mm, no período monitorado. Os dias com precipitação abaixo de 4mm foram 296 e neste período, 12 eventos de tempo seco foram registrados (6 dias consecutivos com $P < 4\text{mm}$). Na Tabela 6 são apresentados os eventos de tempo seco.

Tabela 6 - Eventos de tempo seco no período avaliado.*

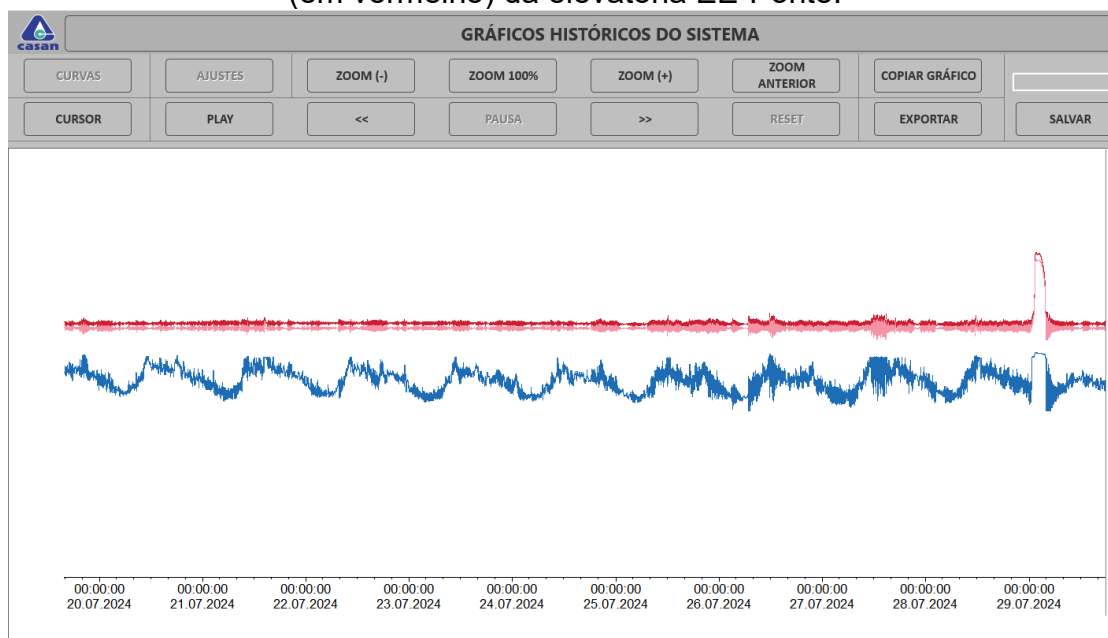
Evento	Dia	Dia da Semana	Estação do Ano	Evento	Dia	Dia da Semana	Estação do Ano
1	24/10/2023	terça-feira	primavera	9	04/07/2024	quinta-feira	inverno
	25/10/2023	quarta-feira	primavera		05/07/2024	sexta-feira	inverno
	26/10/2023	quinta-feira	primavera	10	22/07/2024	segunda-feira	inverno
	27/10/2023	sexta-feira	primavera		23/07/2024	terça-feira	inverno
2	19/12/2023	terça-feira	primavera		25/07/2024	quinta-feira	inverno
	20/12/2023	quarta-feira	primavera		26/07/2024	sexta-feira	inverno
3	31/12/2023	domingo	verão		28/07/2024	domingo	inverno
4	05/02/2024	segunda-feira	verão	11	06/08/2024	terça-feira	inverno
	06/02/2024	terça-feira	verão		07/08/2024	quarta-feira	inverno
	07/02/2024	quarta-feira	verão		08/08/2024	quinta-feira	inverno
	08/02/2024	quinta-feira	verão		09/08/2024	sexta-feira	inverno
	09/02/2024	sexta-feira	verão		10/08/2024	sábado	inverno
	10/02/2024	sábado	verão		11/08/2024	domingo	inverno
	11/02/2024	domingo	verão		12/08/2024	segunda-feira	inverno
5	12/02/2024	segunda-feira	verão		13/08/2024	terça-feira	inverno
	18/03/2024	segunda-feira	verão		14/08/2024	quarta-feira	inverno
	19/03/2024	terça-feira	verão		15/08/2024	quinta-feira	inverno
	20/03/2024	quarta-feira	outono		16/08/2024	sexta-feira	inverno
	21/03/2024	quinta-feira	outono		17/08/2024	sábado	inverno
6	22/03/2024	sexta-feira	outono		18/08/2024	domingo	inverno
	01/04/2024	segunda-feira	outono		19/08/2024	segunda-feira	inverno
	02/04/2024	terça-feira	outono		20/08/2024	terça-feira	inverno
	03/04/2024	quarta-feira	outono		21/08/2024	quarta-feira	inverno
7	04/04/2024	quinta-feira	outono		22/08/2024	quinta-feira	inverno
	24/04/2024	quarta-feira	outono	12	01/09/2024	domingo	inverno
8	04/06/2024	terça-feira	outono		02/09/2024	segunda-feira	inverno
	05/06/2024	quarta-feira	outono		03/09/2024	terça-feira	inverno
	06/06/2024	quinta-feira	outono		04/09/2024	quarta-feira	inverno
	07/06/2024	sexta-feira	outono				
	08/06/2024	sábado	outono				
	09/06/2024	domingo	outono				
	10/06/2024	segunda-feira	outono				
	11/06/2024	terça-feira	outono				
	12/06/2024	quarta-feira	outono				
	13/06/2024	quinta-feira	outono				
	14/06/2024	sexta-feira	outono				
	15/06/2024	sábado	outono				
	16/06/2024	domingo	outono				

* Considerando no mínimo 6 dias anteriores consecutivos com no máximo 4 mm de precipitação diária.

4.3 OBTENÇÃO DOS DADOS DE VAZÃO DE ESGOTO

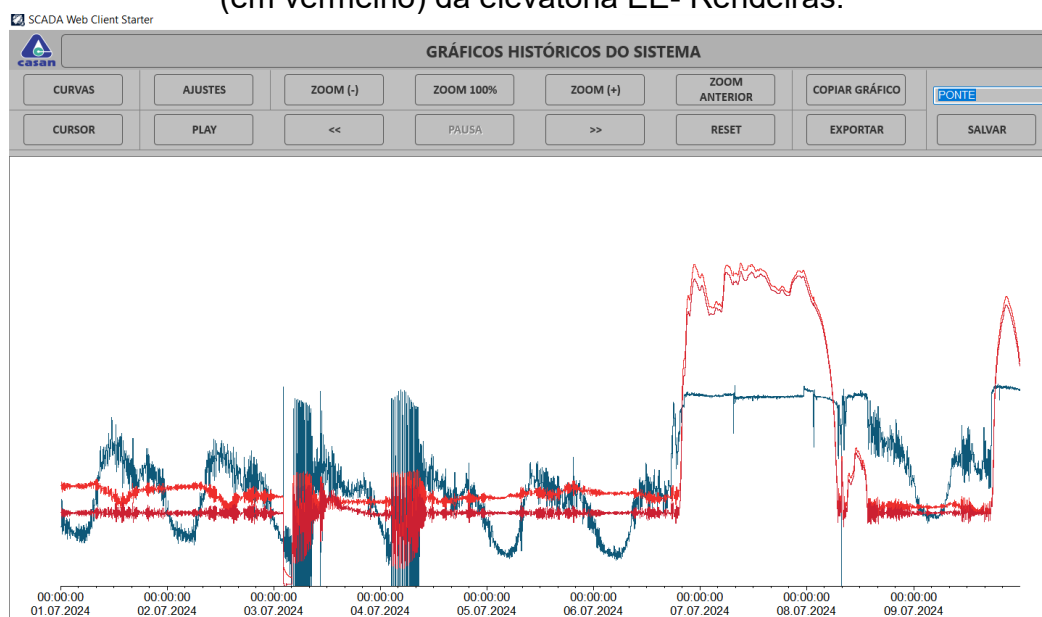
Os dados de vazão instantânea registrados pelos macromedidores foram registrados no sistema supervisorio da CASAN. Nas Figura 27 e Figura 28 são apresentadas capturas de tela dos gráficos gerados pelo sistema supervisorio, para os dois subsistemas avaliados. Nestes gráficos é possível verificar comportamento dos dois subsistemas em eventos chuvosos significativos, que foram precedidos de um período de tempo seco. Neles é possível visualizar os picos de vazão decorrentes das precipitações e entrada de águas indevidas no sistema de esgoto.

Figura 27 - Gráfico de vazões medidas (em azul) e nível dos poços de sucção (em vermelho) da elevatória EE-Ponte.



Fonte: CASAN, 2024.

Figura 28 - Gráfico de vazões medidas (em azul) e nível dos poços de sucção (em vermelho) da elevatória EE- Rendeiras.



Fonte: CASAN, 2024.

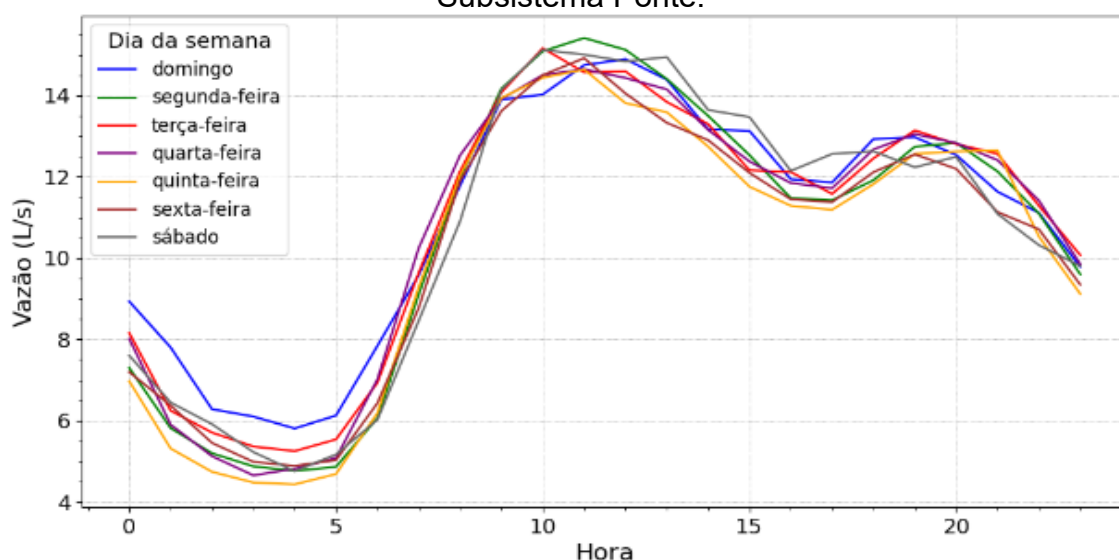
4.4 COMPORTAMENTO DO SISTEMA DE ESGOTO EM TEMPO SECO

A partir da série temporal de vazões ao longo dos dias dos dois subsistemas, foi possível avaliar o comportamento hidráulico das contribuições de esgoto dos dois subsistemas. Para esta análise, através de rotina em python foram isolados todos os eventos de tempo seco do período, para que fosse possível avaliar o comportamento das contribuições de esgoto com o mínimo de influência de contribuição de águas indevidas devido à precipitação.

Com base nos eventos apresentados na Tabela 6, obteve-se as vazões médias horárias de contribuição por dia da semana para cada subsistema, sendo que os eventos 3 e 4 foram descartados por serem períodos de feriado de Ano Novo e Carnaval. Como a região avaliada é predominantemente turística, observa-se grande influência de contribuição de população flutuante nestes períodos, o que acaba não sendo representativo para avaliação do comportamento típico do sistema de esgoto ao longo do ano. Para o subsistema da Ponte a vazão média de tempo seco foi calculada com base em 51 dias de tempo seco válidos, enquanto que para o subsistema das Rendeiras foram contabilizados 42 dias de tempo seco com dados válidos de vazão.

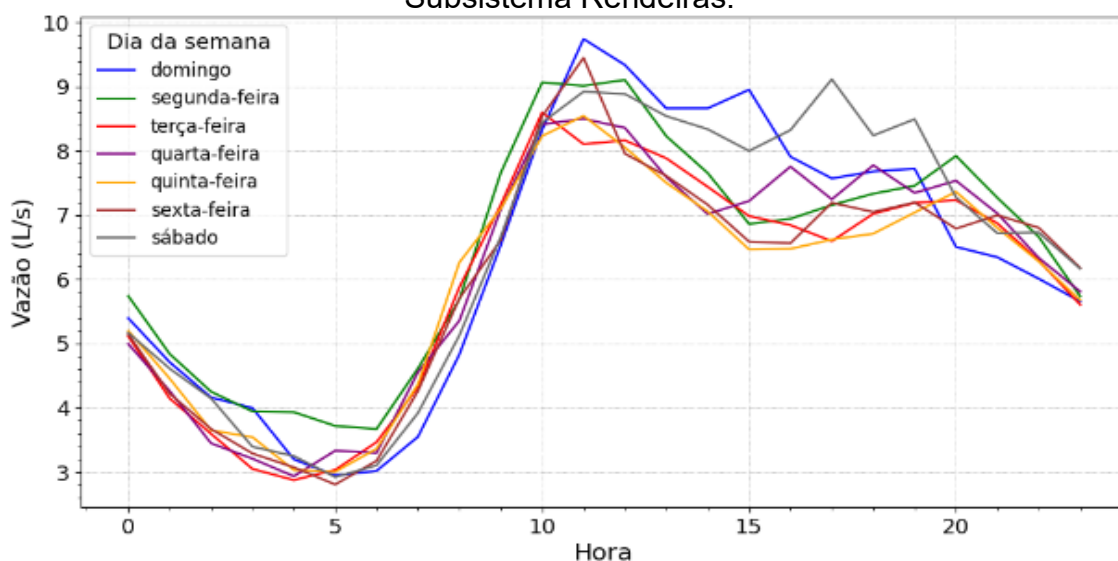
Nas Figura 29 e 30 estão representados os gráficos do comportamento do subsistema Ponte e subsistema Rendeiras, em que é possível perceber que o comportamento das contribuições de esgoto ao longo dos dias das semanas se assemelha, porém durante o final de semana há uma discrepância no comportamento, principalmente no subsistema Rendeiras, em que no período da tarde e noite há uma maior vazão de contribuição horária quando comparado aos outros dias da semana. Possivelmente esta variação ocorre pela rede coletora estar situada em região turística onde há um maior movimento de pessoas aos finais de semana, o que consequentemente contribui para o aumento na vazão de esgoto produzido ao longo do dia.

Figura 29 - Vazão média horária de tempo seco* por dia da semana - Subsistema Ponte.



* Considerando no mínimo 6 dias anteriores consecutivos com no máximo 4 mm de precipitação diária.

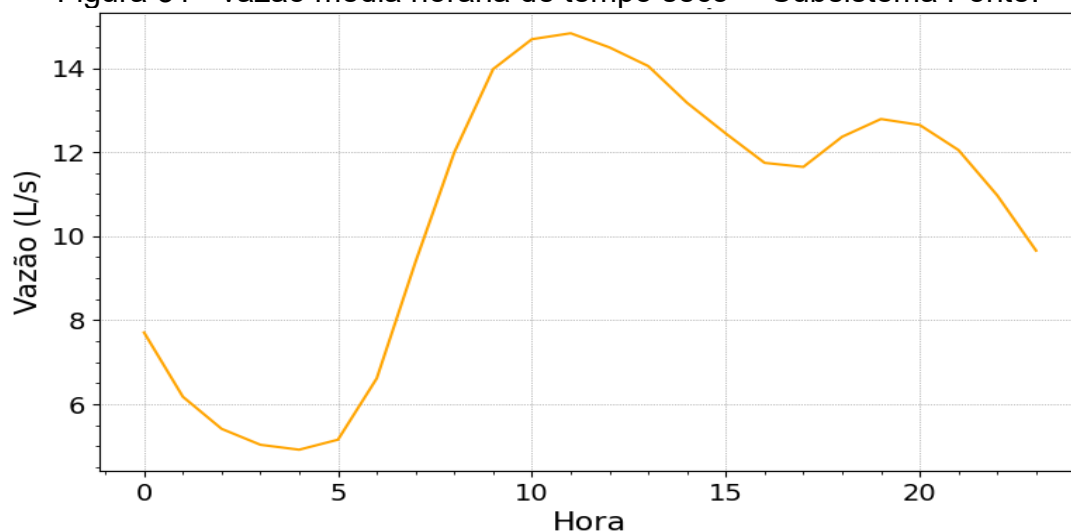
Figura 30 - Vazão média horária de tempo seco* por dia da semana - Subsistema Rendeiras.



* Considerando no mínimo 6 dias anteriores consecutivos com no máximo 4 mm de precipitação diária.

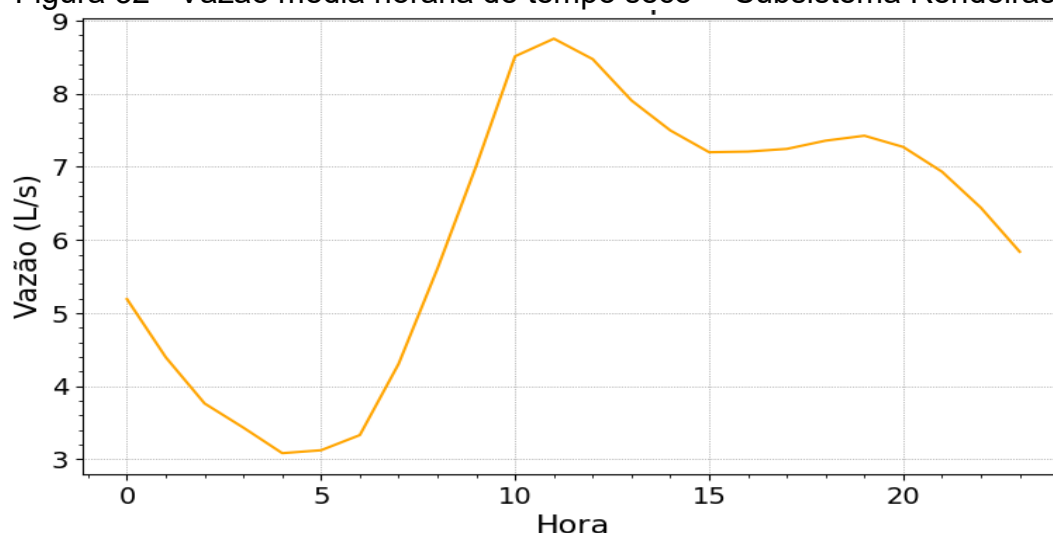
Já nas Figura 31 e Figura 32 estão representadas a síntese do comportamento dos 2 subsistemas com base nos valores médios de todos os dias da semana. Analisando as duas figuras pode-se perceber que o comportamento dos dois subsistemas da Lagoa da Conceição ocorre de maneira similar a outros sistemas de esgoto descritos na literatura, nos quais as menores vazões ocorrem no período da noite e os picos de contribuição de esgoto estão mais próximos ao horário de almoço e final do dia, por conta das variações horárias no consumo de água.

Figura 31 - vazão média horária de tempo seco* - Subsistema Ponte.



* Considerando no mínimo 6 dias anteriores consecutivos com no máximo 4 mm de precipitação diária.

Figura 32 - Vazão média horária de tempo seco* - Subsistema Rendeiras.



* Considerando no mínimo 6 dias anteriores consecutivos com no máximo 4 mm de precipitação diária.

Para ambos sistemas, as vazões mínimas ocorrem aproximadamente no período de 3 horas às 6 horas da manhã, enquanto que os picos de vazões máximas acontecem entre 9 horas da manhã e 13 horas.

Com base nos resultados observados para os dois subsistemas, foi adotado para esta pesquisa que para aplicação da metodologia de quantificação da infiltração de águas subterrâneas através das vazões mínimas noturnas, a determinação da concentração média de esgoto no período noturno de menor vazão seria feita a partir de coletas horárias nas elevatórias entre 3 horas e 6 horas da manhã, em três campanhas de medições em período de tempo seco.

Da mesma forma, a concentração média de esgoto no período diurno de maior vazão, utilizada na aplicação do método das vazões mínimas noturnas, foi determinada a partir de coletas horárias realizadas entre 9h da manhã e 13h nas duas estações elevatórias.

Por fim, com base nos dados acima apresentados verificou-se que a vazão média medida de tempo seco do subsistema Ponte é de 10,57 L/s, enquanto que a vazão média medida de tempo seco do subsistema Rendeiras é de 6,12 L/s.

4.5 VAZÕES DE PROJETO DO SISTEMA DE ESGOTO

De acordo com os dados operacionais da Companhia, até dezembro de 2024 o SES Lagoa da Conceição possuía 4.904 unidades autônomas atendidas pela rede coletora de esgoto, o que corresponde a uma população estimada em 14.896 habitantes.

Ainda segundo os memoriais de projeto da Companhia e cadastro da rede coletora, estima-se que para o ano de 2025 a população atendida pelo subsistema Ponte é de aproximadamente 3.547 habitantes, com aproximadamente 10.073 metros de extensão de rede coletora. Já o subsistema Rendeiras atende aproximadamente 2.689 habitantes em 2025, com extensão de rede coletora de 7.629 metros.

A partir destas informações e utilizando os mesmos critérios do memorial de projeto da Companhia, com o coeficiente de retorno igual a 0,8, a taxa de infiltração de água subterrânea de 0,2 L/s.km e contribuição per capita de 150 L/hab.dia para o SES Lagoa da Conceição, obteve-se os dados de projeto para a vazão média de esgoto para os dois subsistemas, conforme segue.

$$\begin{array}{l}
 Q_{m1} = \frac{P \times Q_{per\ capita} \times c}{86400} + Q_i + Q_{inf} \\
 Q_{m1} = \frac{3.547 \times 150 \times 0,8}{86400} + 0 + (10,073 \times 0,02) \\
 Q_{m1} = 6,94\ L/s
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 Q_{m2} = \frac{P \times Q_{per\ capita} \times c}{86400} + Q_i + Q_{inf} \\
 Q_{m2} = \frac{2.689 \times 150 \times 0,8}{86400} + 0 + (7,629 \times 0,02) \\
 Q_{m2} = 5,26\ L/s
 \end{array}$$

Onde:

Q_{m1} : vazão média de esgoto sanitário do subsistema Ponte (L/s);

P: População atendida (hab);

$Q_{per\ capita}$: contribuição diária por habitante (L/hab.d);

c: coeficiente de retorno;

Q_{m2} : vazão média de esgoto sanitário do subsistema Rendeiras (L/s);

Q_i : vazão industrial (L/s);

Q_{inf} : vazão de infiltração (L/s).

Comparando-se os valores observados de vazão do sistema, conforme apresentado na seção 4.4, com os critérios de dimensionamento de projeto, verifica-se que os valores de vazões calculadas estão subestimados, principalmente para o subsistema Ponte, uma vez que a vazão esperada seria

na faixa de 6,94 L/s, enquanto que o valor medido em tempo seco é superior a 10 L/s, o que corrobora para a hipótese da influência de águas indevidas na vazão total do sistema de esgoto.

4.6 COMPORTAMENTO DO SISTEMA DE ESGOTO COM PRECIPITAÇÕES

A partir dos dados de vazão ao longo do tempo, retirados dos macromedidores obteve-se os volumes diários de esgoto bombeado para cada subsistema. O cálculo foi feito através da soma dos volumes instantâneos, resultados do produto das vazões instantâneas e o período de tempo em que se observou aquela vazão. Os resultados dos volumes diários calculados para cada subsistema foram plotados nos gráficos das Figura 33 e Figura 34, juntamente com a altura precipitada correspondente a cada dia da série avaliada, bem como os valores médios de volume de esgoto em tempo seco, para cada estação do ano. Esses volumes médios foram calculados através da média de todos os volumes de tempo seco por estação do ano. É relevante fazer esta análise por estação do ano, considerando que a região é caracterizada por variação de ocupação ao longo do ano em razão do turismo, principal atividade econômica da região, e consequentemente variações no volume de esgoto produzido em cada período. A Lagoa da Conceição chega a ter no período do verão uma população flutuante de 90% em relação a população residente, conforme memorial de projeto do SES da Companhia.

Em alguns períodos houve falha na transmissão dos dados de vazão medida pelos macromedidores, com ocorrência de alguns períodos do dia em que as informações não foram transmitidas, ou até mesmo períodos de mais de 24h sem a transmissão. Por conta disso, a série de dados foi refinada e essas datas foram excluídas da análise por não representarem o volume total de esgoto bombeado nestes períodos, o que explica as lacunas na série de dados de volumes diários bombeados.

A partir dos gráficos é possível perceber que os subsistemas apresentam comportamentos semelhantes de incremento de vazão ao longo do período observado. Nos eventos de sequência de dias chuvosos nos dias consecutivos o volume bombeado segue por vários dias com volumes acima da vazão de tempo seco. O que indica a contribuição de afluxo tardio nos dias seguintes ao

evento chuvoso. Esse comportamento é bem claro nos meses de setembro de 2023 até meados de fevereiro de 2024. Nos meses de outubro, novembro de 2023 e janeiro de 2024 foram registrados precipitação total acumulada acima de 400mm/mês.

Nos meses de fevereiro e março de 2024 as precipitações mensais ficaram na ordem de 125mm e ambos sistemas bombearam valores próximos da vazão de tempo seco respondendo somente aos dias de maiores precipitações neste período. Já em abril, mês com pluviosidade elevada de mais de 390mm, os subsistemas voltaram a apresentar grande influência do afluxo tardio no sistema, seguido pelo mês de maio com precipitação mensal de 285mm. Os sistemas voltam a se comportar com volumes bombeados próximos ao volume médio de tempo seco nos meses de junho, agosto e setembro de 2024 em que a pluviosidade mensal não ultrapassa dos 100mm. Neste período de inverno e primavera, o mês de julho foi discrepante com precipitação de 250mm e novamente o sistema passa praticamente todo o mês bombeando vazões muito acima da média de tempo seco.

Os gráficos deixam muito claro a grande interferência das precipitações no sistema, especialmente quando são muitos dias seguidos de precipitações elevadas, com os hidrogramas de resposta do sistema se superpondo uns aos outros, sem tempo do sistema se recuperar e voltar a bombear somente as vazões de esgoto sem o IADP.

Quanto aos volumes médios de tempo seco, para o subsistema Rendeiras o menor volume médio de tempo seco ocorreu durante o outono enquanto que no subsistema Ponte o menor volume médio foi durante o inverno, o que era de se esperar por conta da menor influência de população flutuante na região nessa época do ano. Enquanto que os maiores volumes médios de contribuição de esgoto de tempo seco ocorreram na estação de verão para ambos subsistemas, conforme a mesma lógica de incremento de vazão decorrente da população flutuante.

Figura 33 – Volume diário de esgoto produzido, volume médio de esgoto de tempo seco por estação do ano e precipitação diária equivalente – EE-Rendeiras.

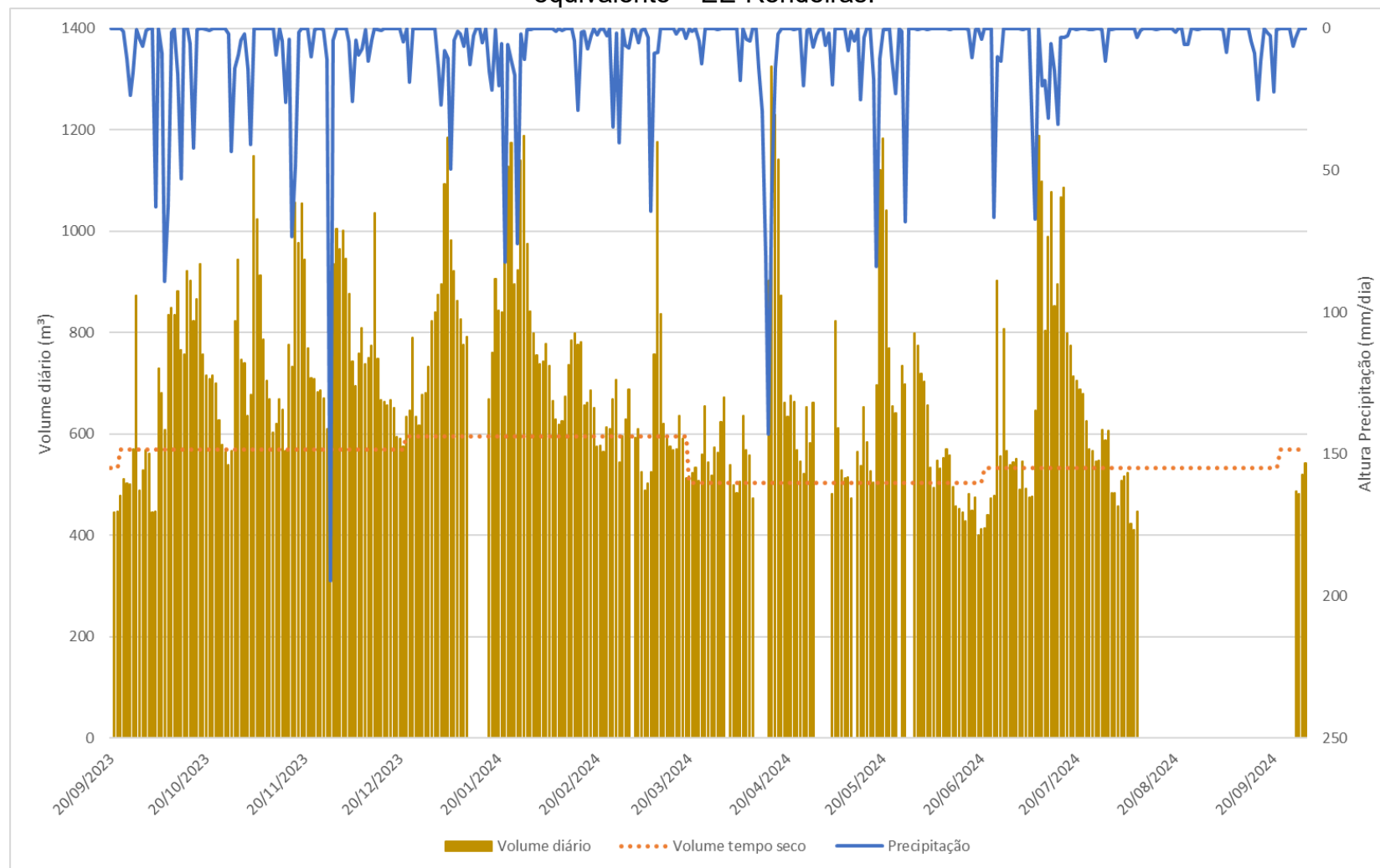
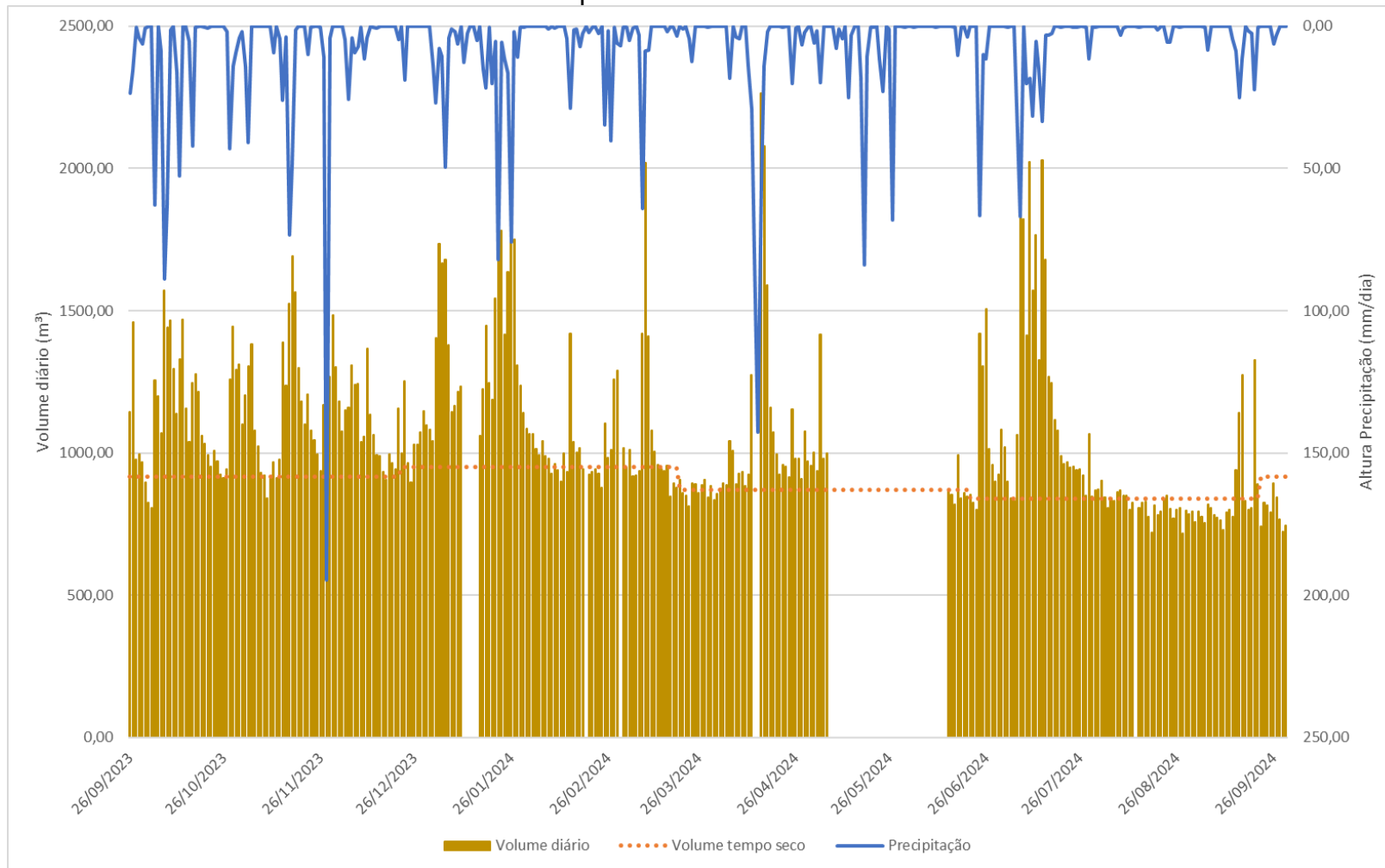


Figura 34 - Volume diário de esgoto produzido, volume médio de esgoto de tempo seco por estação do ano e precipitação diária equivalente – EE-Ponte.



4.7 INFILTRAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEAS

Com base na avaliação do comportamento típico das vazões das elevatórias em tempo seco, adotou-se que para aplicação da metodologia de quantificação da infiltração através das vazões mínimas noturnas, o intervalo de análise das concentrações de esgoto seriam entre 3 horas e 6 horas da manhã, para o período de menor vazão, enquanto que para o período diurno o intervalo de análise seria entre 9 horas e 13 horas, tendo em vista que estas são as faixas de horário de vazões mínimas e máximas nos dois subsistemas.

Para a quantificação da infiltração de água subterrânea foram realizadas 3 campanhas de amostragem em períodos de tempo seco, sendo estas nos dias 07/06/2024, 26/07/2024 e 20/08/2024. Detalhes dos dias precedentes são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Precipitação no período antecedente à amostragem para caracterização da DQO de tempo seco*.

CAMPANHA DE AMOSTRAGEM					
1		2		3	
DATA	PRECIPITAÇÃO (MM/DIA)*	DATA	PRECIPITAÇÃO (MM/DIA)*	DATA	PRECIPITAÇÃO (MM/DIA)
31/05/2024	0,2	19/07/2024	0,0	13/08/2024	0,0
01/06/2024	0,0	20/07/2024	0,2	14/08/2024	0,2
02/06/2024	0,0	21/07/2024	0,0	15/08/2024	0,0
03/06/2024	0,4	22/07/2024	0,0	16/08/2024	0,0
04/06/2024	0,0	23/07/2024	0,0	17/08/2024	0,0
05/06/2024	0,0	24/07/2024	0,2	18/08/2024	0,0
06/06/2024	0,0	25/07/2024	0,2	19/08/2024	0,0
07/06/2024	0,0	26/07/2024	0,0	20/08/2024	1,2

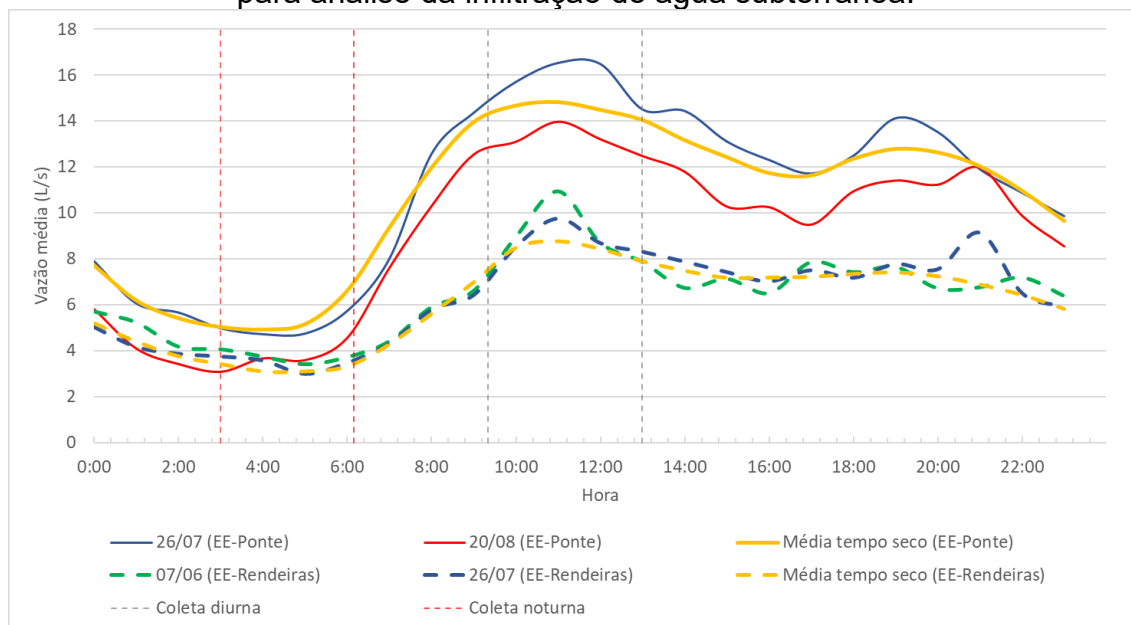
Fonte: Elaborado pela autora.

* Considerando no mínimo 6 dias anteriores consecutivos com no máximo 4 mm de precipitação diária.

A partir da análise do comportamento das vazões nos dias das campanhas para os dois subsistemas, nota-se que ambos se comportaram seguindo a tendência das vazões médias horárias dos dias secos ao longo do período de análise. Também é possível observar que os períodos de menor e maior vazão ocorreram respectivamente entre 3h e 6h da manhã e 9h e 13 horas da tarde, estando dentro do que era esperado para as coletas de amostras nos períodos de maior e menor contribuição do dia. Na Figura 35 estão

representadas as vazões médias horárias ao longo dos dias das coletas, em comparação com as vazões de tempo seco dos dois subsistemas.

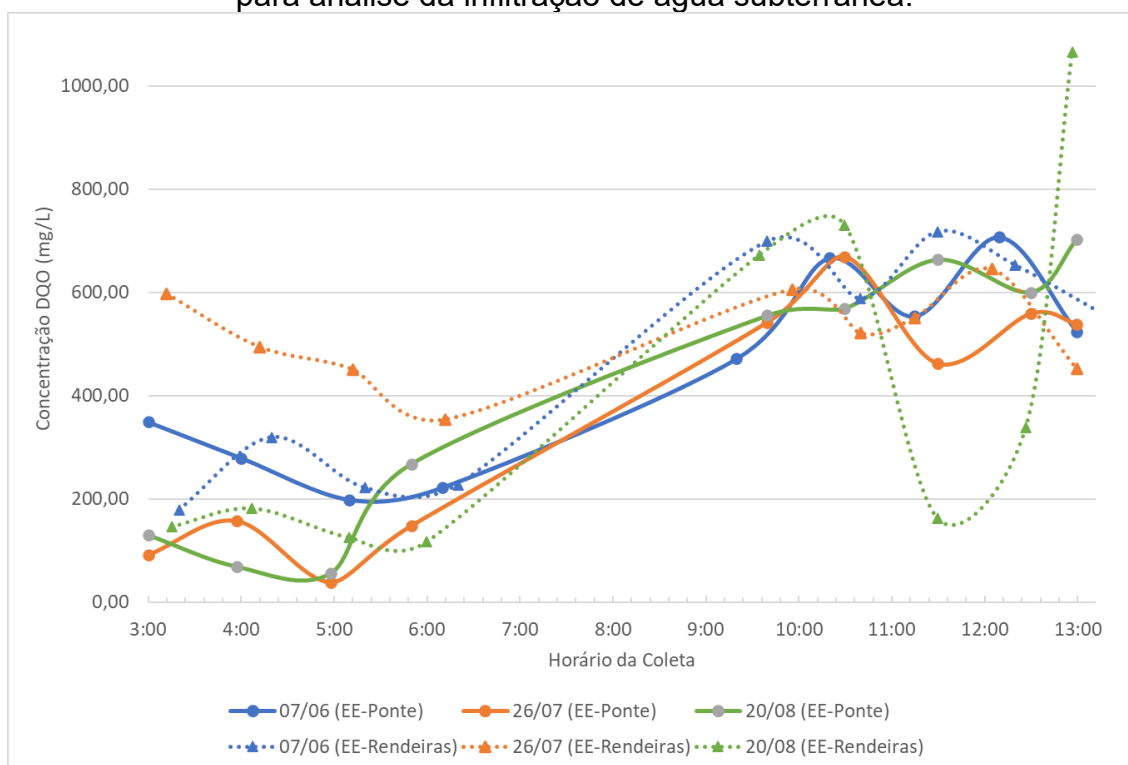
Figura 35 - Vazões médias horárias ao longo de 24h dos dias de campanhas para análise da infiltração de água subterrânea.



No subsistema Ponte ocorreu falha na transmissão dos dados do macromedidor para o sistema supervisor durante um período que abrangeu a campanha do dia 07/06/2024, e da mesma forma houve falha na transmissão dos dados de vazão em tempo real no subsistema Rendeiras no dia 20/08/2024. Para que fosse possível aplicar a metodologia nestas duas campanhas, adotou-se para estes períodos os dados de vazões médias de tempo seco para os horários de maior e menor vazão diária.

As concentrações horárias de esgoto nos dias das campanhas, para os dois subsistemas, podem ser observadas na Figura 36. É possível observar a variação na concentração de esgoto ao longo do dia, com valores de DQO variando de 38,3 a 707,83 mg/L para o subsistema Ponte e de 117,5 a 1066,63 mg/L para a EE Rendeiras.

Figura 36 - Concentrações horárias de esgoto (DQO) nos dias de campanhas para análise da infiltração de água subterrânea.



Analisando o gráfico da Figura 36 percebe-se que as concentrações de esgoto para o subsistema Ponte apresentaram comportamentos semelhantes nas 3 campanhas de amostragem, com valores de DQO variando entre 38,30 mg/L e 349,80 mg/L nas coletas noturnas (entre 3 e 6 da manhã) e valores de 462,58 mg/L a 707,83 mg/L nas coletas entre 9 da manhã e 13 horas.

O comportamento típico das amostragens foi de menores concentrações durante a madrugada, quando a baixa contribuição de esgoto é diluída pela contribuição de infiltração de água subterrânea, e maiores concentrações no período do dia, em que a contribuição de esgoto é maior. Com exceção das 2ª e 3ª campanhas do subsistema Rendeiras, que apresentaram valores discrepantes do comportamento típico de um sistema de esgoto.

Para a 2ª campanha de amostragem, em 26/07, é possível perceber que as concentrações de esgoto no período noturno foram bem mais elevadas quando comparadas com as outras campanhas. Este fato ocorreu, pois, na madrugada desta campanha o poço de visita anterior ao gradeamento, em que é feito a coleta das amostras, estava afogado por conta do excesso de sólidos grosseiros no gradeamento à jusante. Para esta metodologia é necessária a

avaliação da concentração instantânea de esgoto, no entanto, como o poço estava afogado e com esgoto acumulado, a concentração de esgoto foi muito mais elevada, uma vez que no poço havia efluente acumulado de horas anteriores, nas quais a contribuição de esgoto doméstico era maior, e consequentemente, com maior concentração.

Conforme informações do setor operacional de esgoto da CASAN, o sistema de esgotamento sanitário da Lagoa da Conceição tem uma particularidade de elevado acúmulo de sólidos no gradeamento das elevatórias, por ser uma região de muitos restaurantes. Por conta disso, a limpeza das grades é realizada numa frequência maior do que outros sistemas que a Companhia opera. Neste dia foi registrado no relatório operacional da Companhia que a limpeza do gradeamento havia sido realizada por volta das 7 horas da manhã, o que explica a interferência apenas na campanha da madrugada (entre 3h e 6h), uma vez que na 1ª amostragem no período diurno, às 9h15, o efluente já estava fluindo normalmente, sem acúmulo de esgoto no poço de visita anterior à grade.

Por conta disso, para a 2ª campanha do subsistema da EE-Rendeiras, adotou-se para a concentração da DQO noturna, o valor da média das outras duas campanhas noturnas válidas.

Já para a 3ª campanha, realizada em 20/08/2024, as concentrações das 3 últimas análises do dia apresentaram valores muito diferentes dos valores típicos esperados, que seriam entre 450 e 800 mg/L (von Sperling, 2005). Não foi possível correlacionar a causa para estes resultados, porém a hipótese é de que possa ter ocorrido algum erro de análise, que pode estar relacionado a possível interferência de salinidade na amostra. Para análises de DQO é necessário o controle de salinidade da amostra, pois o método utilizado pode sofrer interferências. Para evitar a influência do íon cloreto na concentração de DQO, as amostras foram diluídas, porém é possível que estas amostragens não tenham sido diluídas corretamente.

Para a medição das concentrações de DQO nos poços de monitoramento de águas subterrâneas, foram realizadas coletas de água dos poços na 2ª e 3ª campanha. Para a 1ª campanha não foi realizada coleta de água dos poços pois inicialmente não havia a perspectiva de se obter em campo os valores de concentração de DQO de infiltração dos poços existentes, pois a

concentração de DQO das águas de infiltração seria considerada nula. Como havia a possibilidade de coleta das águas dos poços na região do sistema avaliado, optou-se por esta estratégia para que se obtivessem valores mais próximos da realidade em termos de concentração das águas de infiltração.

Na Tabela 8 são apresentados os valores obtidos para cada poço em cada campanha. Os resultados indicam que a concentração média das águas subterrâneas da região foi de 65,41 mg/L na 2ª campanha e de 47,37 mg/L na 3ª. Para o poço de monitoramento 01, localizado às margens da Lagoa da Conceição na avenida das Rendeiras, a concentração foi semelhante nas duas amostragens. Já para o poço 02 (localizado ao lado do poço 01) e para o poço 03 (ao lado do posto da Polícia Militar na avenida das Rendeiras), as concentrações foram bem variadas de uma campanha para outra.

Tabela 8 - Concentrações de DQO dos poços de monitoramento de águas subterrâneas nos dias de tempo seco*.

Poços de Monitoramento - Concentração DQO (mg/L)				
Ponto	Profundidade do poço (m)	2ª campanha (26/07/2024)	3ª campanha (21/08/2024)	Média
PZ 01	1,7	65,90	65,34	65,62
PZ 02	4,7	19,70	49,35	34,53
PZ 03	5,0	110,63	27,43	69,03
Média		65,41	47,37	50,07

* Considerando no mínimo 6 dias anteriores consecutivos com no máximo 4 mm de precipitação diária.

A partir dos dados de vazões e concentrações foram calculadas as vazões e coeficientes de infiltração para os dois subsistemas (Tabela 9). Salienta-se que para que fosse possível aplicar a metodologia para as 3 campanhas, algumas lacunas de amostragem foram preenchidas considerando valores médios das medições de outra campanhas, sendo estas: a DQO de infiltração de águas subterrâneas da 1ª campanha dos dois subsistemas foi adotada como sendo a média das campanhas 2 e 3 de todos os poços monitorados; vazões mínimas noturnas das campanhas em que houve falha na transmissão dos dados ao supervisor como sendo as vazões mínimas médias de tempo seco para cada subsistema; e concentração de esgoto noturna da 2ª campanha da EE-Rendeiras como sendo a média das outras campanhas noturnas para este subsistema.

Tabela 9 - Resultados das campanhas de medição de águas subterrâneas* realizadas no ano de 2024.

		EE-Ponte			EE-Rendeiras		
Campanha	Unidade	1 ^a (07/06)	2 ^a (26/07)	3 ^a (20/08)	1 ^a (07/06)	2 ^a (26/07)	3 ^a (20/08)
Vazão mínima noturna	L/s	4,92**	4,7	3,09	3,42	2,98	3,08*
DQOmédia noturna	mg/L	262,78	108,80	131,39	237,4	190,10*	142,81
DQOmédia esgoto	mg/L	585,22	554,80	618,80	644,22	555,27	599,75
DQO infiltração	mg/L	56,39*	65,41	47,37	56,39*	65,41	47,37
Vazão de infiltração	L/s	3,00	4,28	2,64	2,37	2,22	2,55
Coeficiente de infiltração	L/s.km	0,30	0,43	0,26	0,31	0,29	0,33

* Condições de contorno: no mínimo 6 dias anteriores consecutivos com no máximo 4 mm de precipitação diária.

**valores adotados pela média de outras medições

Através da interpretação dos resultados observa-se que os maiores valores de vazão de infiltração de águas subterrâneas ocorreram no subsistema Ponte, o que já era esperado, por possuir maior extensão de rede e consequentemente mais pontos de entrada de águas indevidas por conta de infiltração de águas subterrâneas. Já os coeficientes de infiltração variaram de 0,26 L/s.km a 0,43 L/s.km para a rede coletora que contribui para a EE-Ponte e de 0,29 L/s.km a 0,33 L/s.km para a rede coletora que contribui para a EE-Rendeiras.

Em comparação com resultados de trabalhos anteriores observa-se que os valores estão dentro da faixa de coeficientes da Tabela 10, no entanto em comparação com o trabalho de Broering (2023), que foi realizado no mesmo município, porém em região diferente, nota-se uma grande discrepância, uma vez que em seu trabalho o coeficiente de infiltração de água subterrânea variou de 0,6 a 0,89 L/s.km.

Tabela 10 - Comparação dos coeficientes de infiltração de água subterrânea com outros trabalhos

(continua)

Autor	Local	Ano	Taxa de infiltração de água subterrânea (L/s.km)	Condições de obtenção dos valores
Luis P. Almeida Neto, Gilberto O. Gaspar, João B. Comparini e Nelson L. Silva	Cardoso, Indaiaporã, Guarani D'Oeste e Valentim Gentil (SP)	1989	0,01 a 0,116	Medições em sistemas em operação
Lineu R. Alonso, Rodolfo J. Costa e Silva Jr., Francisco J.F. Paracampos	São Paulo	1990	0,24 a 0,35	Medições em sistemas em operação

(conclusão)

Autor	Local	Ano	Taxa de infiltração de água subterrânea (L/s.km)	Condições de obtenção dos valores
Milton T Tsutiya e Orlando Z. Cassettari	Tatuí (SP)	1995	0,33	Medições em sistemas em operação
Frederico Y. Hanai e José R. Campos	Araraquara (SP)	1997	0,17	Medições em sistemas em operação
Festi	Bororema (SP)	2006	0,518	Medições por alguns meses
Paulo César Lamin e Pablo Heleno Sezerino	Joaçaba (SC)	2012	0,056 a 0,136	Medições em um sistema ao longo de 3 meses
Saman Belizario Broering	Florianópolis (SC)	2018	0,6 a 0,89	Medições em campo ao longo de 3 meses
EE-Rendeiras - SES Lagoa da Conceição (este trabalho)	Florianópolis (SC)	2024	0,29 a 0,33	Medições em campo
EE-Ponte - SES Lagoa da Conceição (este trabalho)	Florianópolis (SC)	2024	0,26 a 0,43	Medições em campo
Projetos CASAN	em Santa Catarina	2024	0,2 a 0,4	Valores referências para dimensionamento de projeto

Esta variação pode estar relacionada à diferença de tipos de solo das regiões, uma vez que a bacia de esgotamento sanitário avaliada naquele trabalho está situada em área onde o solo é do tipo Gleissolo Háplico I, de acordo com Ambiental (2018, *apud* Broering, 2023), que são caracterizados por serem encharcados, com horizonte A rico em matéria orgânica, seguido por um horizonte profundo chamado de Glej, em que as cores acinzentadas esverdeadas características são causadas por excesso de água (Broering, 2023). Enquanto que na área avaliada por esta pesquisa o solo é tipicamente composto por areia fina nas duas bacias.

Outro fator que pode influenciar no resultado é a profundidade da rede coletora com relação ao nível do lençol freático. Conforme consta na pesquisa de Broering (2023) em grande parte da área de estudo o lençol freático é relativamente superficial, pouco profundo. Com profundidade da rede coletora variando de 0,65m a 4,2 metros em alguns trechos. Já para este trabalho a profundidade do lençol se situa entre 0,8 a 1,5 m com rede coletora assentada em profundidades variando de 0,26m a 3,75m na bacia do subsistema Rendeiras, enquanto que na bacia do subsistema Ponte o nível do lençol freático varia entre 0,91 a 2,5 m e profundidade da rede entre 0,25 m a 2,7 metros.

4.8 QUANTIFICAÇÃO DA INFILTRAÇÃO E AFLUXO DEVIDO À PRECIPITAÇÃO

Em uma análise inicial foram plotados todos os eventos chuvosos significativos e seus respectivos valores de precipitação total diária e IADP, sendo que para o cálculo do IADP considerou-se este como sendo o volume diário de esgoto bombeado no dia chuvoso significativo subtraído do volume médio dos 3 últimos dias de tempo seco mais próximos do evento chuvoso.

A Tabela 11 e as Figura 37 e 38 apresentam para os dois subsistemas todos os valores de IADP em relação à altura precipitada, no período de setembro de 2023 a setembro de 2024, com os valores crescentes de IADP.

Tabela 11 - Eventos chuvosos significativos* e respectivos volumes diários de IADP.

(continua)

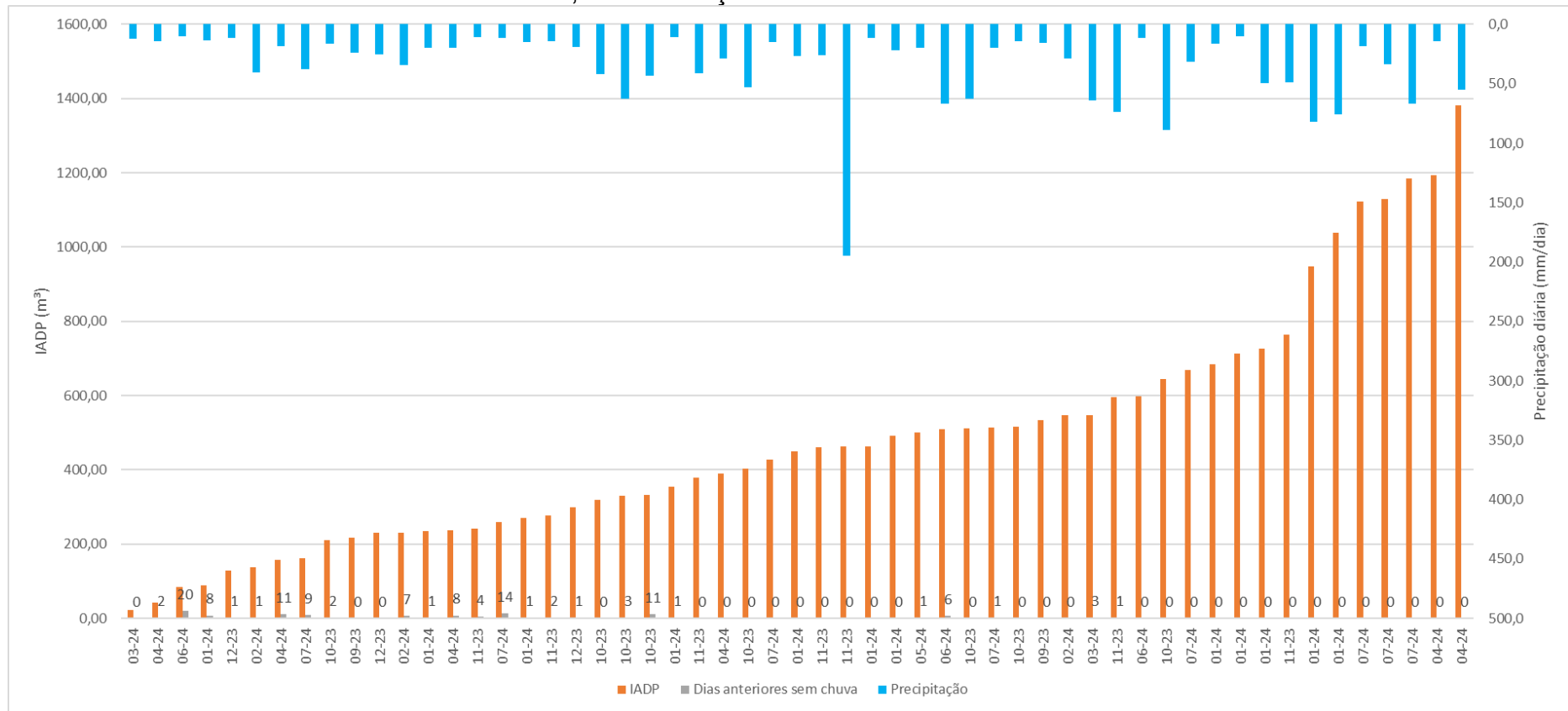
Subsistema Ponte			Subsistema Rendeiras		
Dia	Precipitação diária (mm/dia)	IADP (m³/dia)	Dia	Precipitação diária (mm/dia)	IADP (m³/dia)
26/09/2023	23,6	218,06	26/09/2023	23,6	4,58
27/09/2023	15,6	535,19	27/09/2023	15,6	308,19
04/10/2023	62,8	331,18	04/10/2023	62,8	163,79
07/10/2023	89,0	646,94	07/10/2023	89,0	268,60
08/10/2023	62,8	512,19	08/10/2023	62,8	282,37
11/10/2023	16,2	207,25	11/10/2023	16,2	199,74
12/10/2023	52,8	403,59	12/10/2023	52,8	189,72
16/10/2023	42,0	319,66	16/10/2023	42,0	299,74
28/10/2023	43,2	333,10	28/10/2023	43,2	256,02
29/10/2023	14,0	516,32	29/10/2023	14,0	376,49
02/11/2023	14,2	273,97	02/11/2023	14,2	110,36
03/11/2023	41,0	377,76	03/11/2023	41,0	583,45
14/11/2023	26,0	460,89	14/11/2023	26,0	234,95
16/11/2023	73,4	598,42	16/11/2023	73,4	489,69
17/11/2023	48,6	767,43	17/11/2023	48,6	410,09
27/11/2023	10,8	241,72	27/11/2023	10,8	135,65
28/11/2023	194,6	459,45	28/11/2023	194,6	370,45
05/12/2023	25,6	231,25	05/12/2023	25,6	126,99
10/12/2023	11,4	129,24	10/12/2023	11,4	207,51
23/12/2023	18,8	299,77	23/12/2023	18,8	173,61
01/01/2024	13,6	89,03	01/01/2024	13,6	277,60
02/01/2024	26,8	451,69	02/01/2024	26,8	477,00
04/01/2024	10,4	714,38	04/01/2024	10,4	365,48
05/01/2024	49,4	725,36	05/01/2024	49,4	315,33

(conclusão)

Subsistema Ponte	Subsistema Rendeiras	Subsistema Ponte	Subsistema Rendeiras	Subsistema Ponte	Subsistema Rendeiras
Dia	Precipitação diária (mm/dia)	Dia	Precipitação diária (mm/dia)	Dia	Precipitação diária (mm/dia)
17/01/2024	15,2	271,51	17/01/2024	15,2	144,68
18/01/2024	21,6	494,00	18/01/2024	21,6	289,09
20/01/2024	20,0	236,98	20/01/2024	20,0	226,69
22/01/2024	82,2	947,75	22/01/2024	82,2	510,66
24/01/2024	11,2	463,66	24/01/2024	11,2	277,40
25/01/2024	16,4	675,74	25/01/2024	16,4	307,94
26/01/2024	75,8	1041,93	26/01/2024	75,8	524,18
28/01/2024	10,8	355,48	28/01/2024	10,8	358,46
14/02/2024	28,8	547,87	14/02/2024	28,8	260,38
25/02/2024	34,6	231,38	25/02/2024	34,6	182,47
27/02/2024	40,2	137,64	27/02/2024	40,2	72,13
08/03/2024	64,2	548,71	08/03/2024	64,2	236,13
24/03/2024	12,4	22,77	24/03/2024	12,4	134,15
05/04/2024	18,4	157,39	05/04/2024	18,4	149,80
11/04/2024	14,0	41,59	13/04/2024	79,8	411,53
12/04/2024	29,0	389,49	14/04/2024	142,8	835,45
15/04/2024	55,2	1381,07	15/04/2024	55,2	736,36
16/04/2024	14,0	1194,48	16/04/2024	14,0	648,94
25/04/2024	20,0	236,74	25/04/2024	20,0	132,01
04/05/2024	19,8	501,16	04/05/2024	19,8	303,57
17/06/2024	10,2	96,23	13/05/2024	25,2	131,26
24/06/2024	66,6	562,83	17/05/2024	18,0	259,35
26/06/2024	11,4	598,78	18/05/2024	83,8	598,53
06/07/2024	37,6	162,14	19/05/2024	10,6	661,63
07/07/2024	67,0	1184,36	23/05/2024	11,6	121,92
09/07/2024	20,0	513,76	17/06/2024	10,2	26,97
10/07/2024	18,2	1121,68	24/06/2024	66,6	442,46
11/07/2024	31,6	670,15	26/06/2024	11,4	350,82
13/07/2024	15,0	428,62	06/07/2024	37,6	166,72
14/07/2024	33,6	1129,06	07/07/2024	67,0	708,86
29/07/2024	11,4	315,42	09/07/2024	20,0	324,24
			10/07/2024	18,2	509,25
			11/07/2024	31,6	597,75
			13/07/2024	15,0	416,56
			14/07/2024	33,6	587,68
			29/07/2024	11,4	176,65

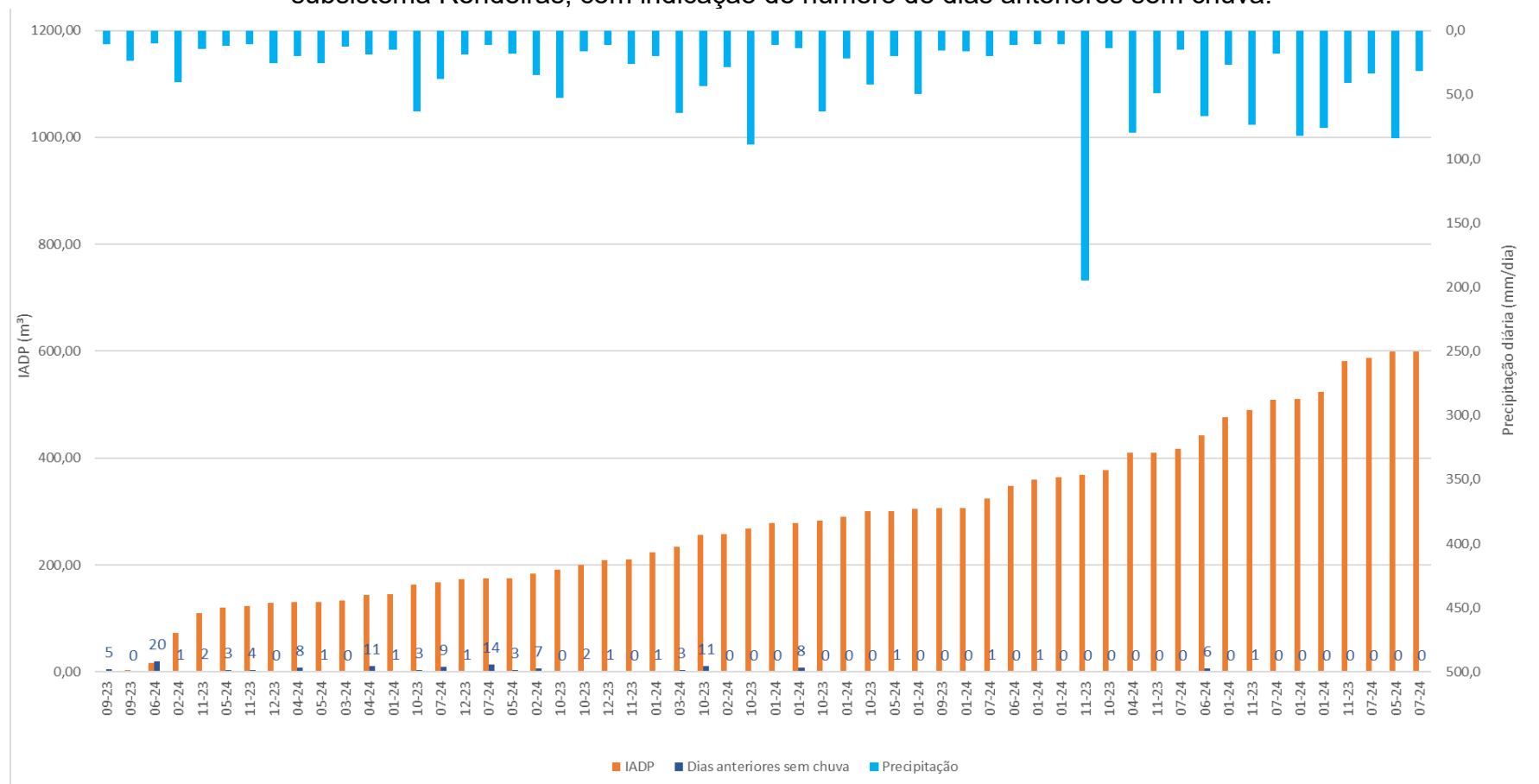
*Dias com precipitação diária superior a 10 mm.

Figura 37 - Precipitação diária e correspondente infiltração e afluxo devido à precipitação nos dias chuvosos significativos* do subsistema Ponte, com indicação de número de dias anteriores sem chuva.



*Dias com precipitação diária superior a 10 mm.

Figura 38 - Precipitação diária e correspondente infiltração e afluxo devido à precipitação nos dias chuvosos significativos* do subsistema Rendeiras, com indicação de número de dias anteriores sem chuva.

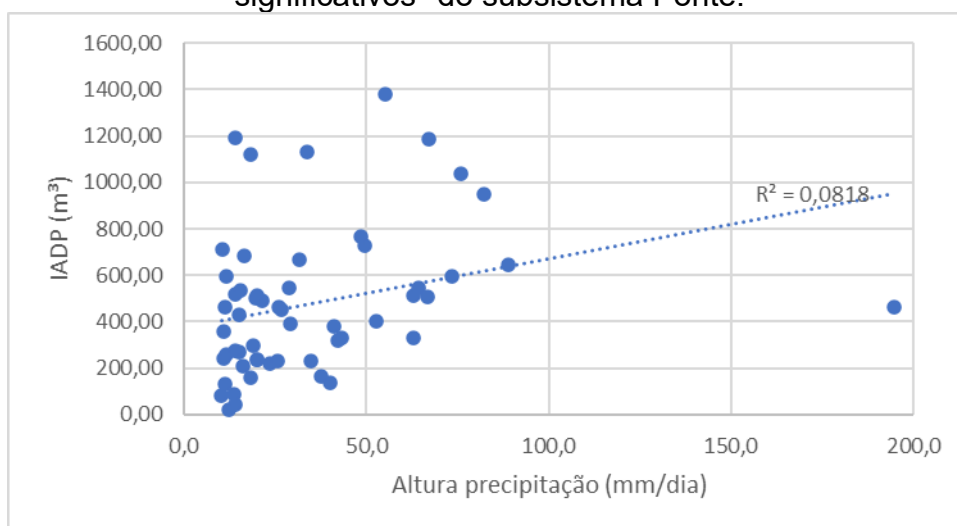


*Dias com precipitação diária superior a 10 mm.

Para o subsistema Ponte o valor máximo de IADP foi na faixa de 1381 m³ de volume bombeado em um dia, equivalente a uma contribuição indevida de 15,96 L/s neste dia, e 151% de sobrecarga em relação à vazão média de tempo seco. Já para o subsistema Rendeiras, observou-se um valor máximo de IADP de 835 m³ de volume bombeado em um dia, o que seria equivalente a uma contribuição de 9,6 L/s ao longo do dia, e 158% de sobrecarga em relação à vazão média de tempo seco do subsistema.

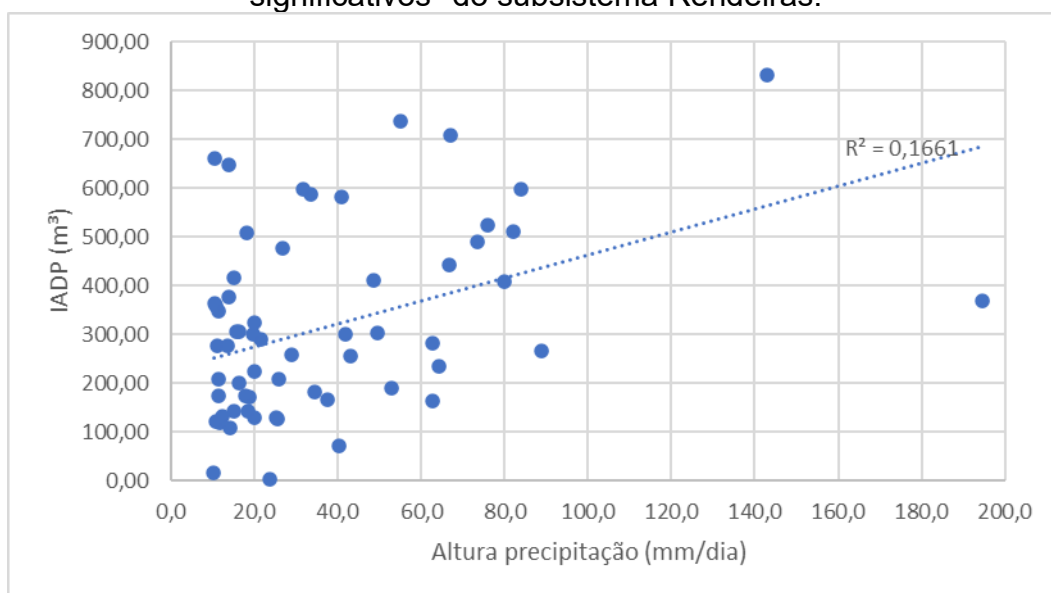
Nesta primeira análise macro de todos os eventos chuvosos significativos para os dois subsistemas é possível perceber que maiores volumes de IADP não necessariamente corresponderam a maiores valores de altura precipitada no dia. Os gráficos das Figuras 39 e 40 também demonstram a baixa correlação entre o IADP e altura precipitada na análise de todos os períodos chuvosos significativos, com coeficiente de determinação de 0,08 para o subsistema Ponte e coeficiente de determinação de 0,16 para o subsistema Rendeiras; bem discrepante do que foi observado pelo trabalho de Festi (2006), em que no estudo de caso realizado em Borborema, no interior de São Paulo, obteve-se um coeficiente de determinação de 0,86, na relação linear entre IADP e altura precipitada.

Figura 39 - Relação entre precipitação diária e IADP em todos os eventos chuvosos significativos* do subsistema Ponte.



*Dias com precipitação diária superior a 10 mm.

Figura 40 - Relação entre precipitação diária e IADP em todos os eventos chuvosos significativos* do subsistema Rendeiras.



*Dias com precipitação diária superior a 10 mm.

A baixa correlação entre a precipitação e o IADP pode ser explicada pela possível influência de afluxo tardio. Isto porque nesta primeira análise não foram selecionados apenas os eventos chuvosos precedidos de tempo seco (mínimo de 6 dias sem chuva), desta maneira possíveis contribuições de águas pluviais de dias anteriores podem ter contribuído para o sistema de esgoto mesmo em dias de baixa precipitação. Outra hipótese para a baixa correlação entre IADP e precipitação pode estar relacionada as variações sazonais de volume de esgoto produzido diariamente, por se tratar de região com variação na ocupação por conta do turismo; desta forma a variação no volume de esgoto doméstico pode influenciar na determinação da parcela de infiltração e afluxo devido à precipitação.

De forma a avaliar a possível influência do afluxo tardio em eventos chuvosos significativos, foram plotados todos os eventos chuvosos significativos precedidos de 1 até 8 dias sem chuva, conforme Figura 41 até 48.

Figura 41 - Relação entre precipitação diária e IADP em evento chuvoso após 1 dia sem chuva.

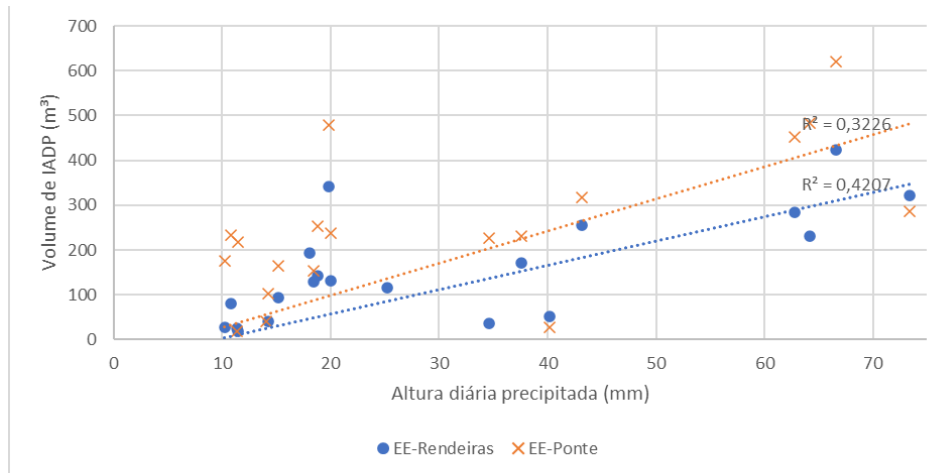


Figura 42 - Relação entre precipitação diária e IADP em evento chuvoso após 2 dias sem chuva.

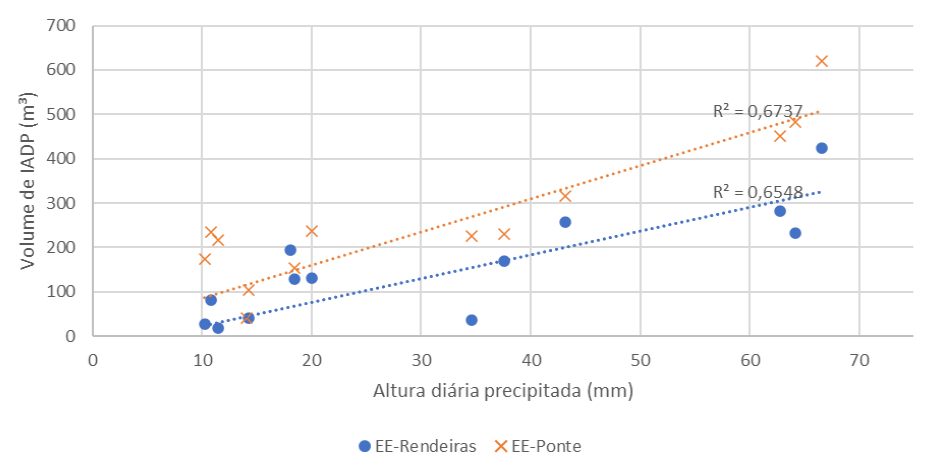


Figura 43 - Relação entre precipitação diária e IADP em evento chuvoso após 3 dias sem chuva.

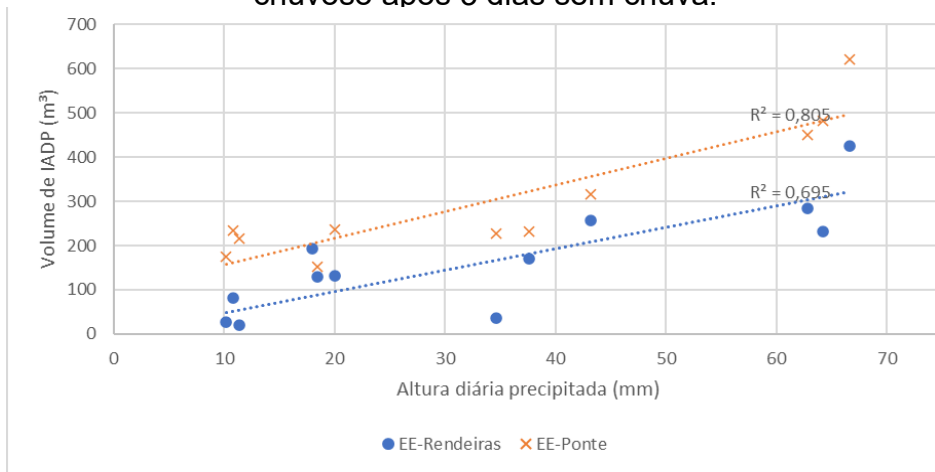


Figura 44 - Relação entre precipitação diária e IADP em evento chuvoso após 4 dias sem chuva.

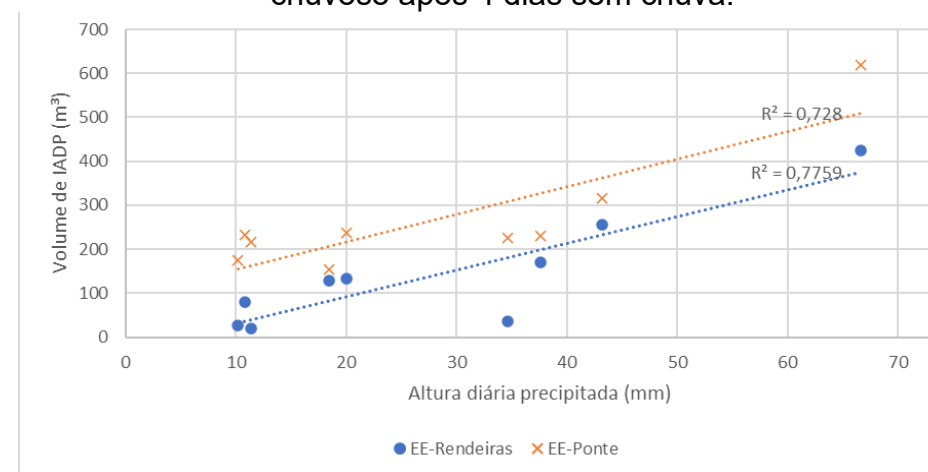


Figura 45 - Relação entre precipitação diária e IADP em evento chuvoso após 5 dias sem chuva.

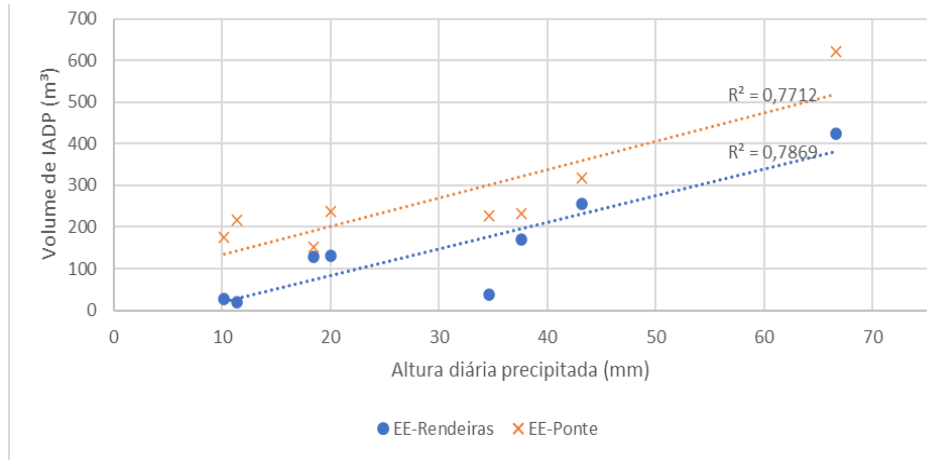


Figura 46 - Relação entre precipitação diária e IADP em evento chuvoso após 6 dias sem chuva.

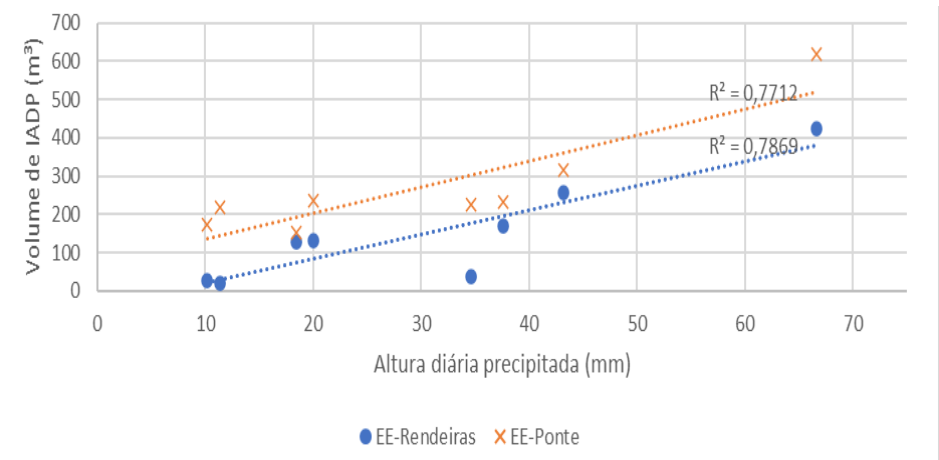


Figura 47 - Relação entre precipitação diária e IADP em evento chuvoso após 7 dias sem chuva.

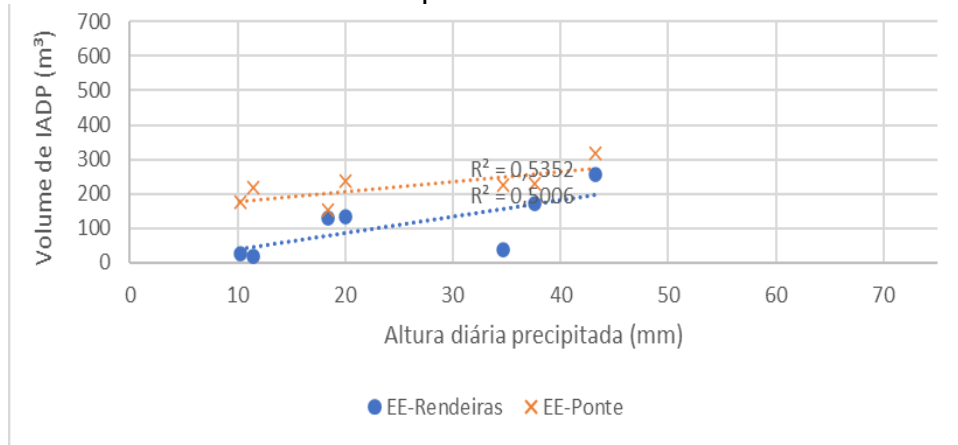
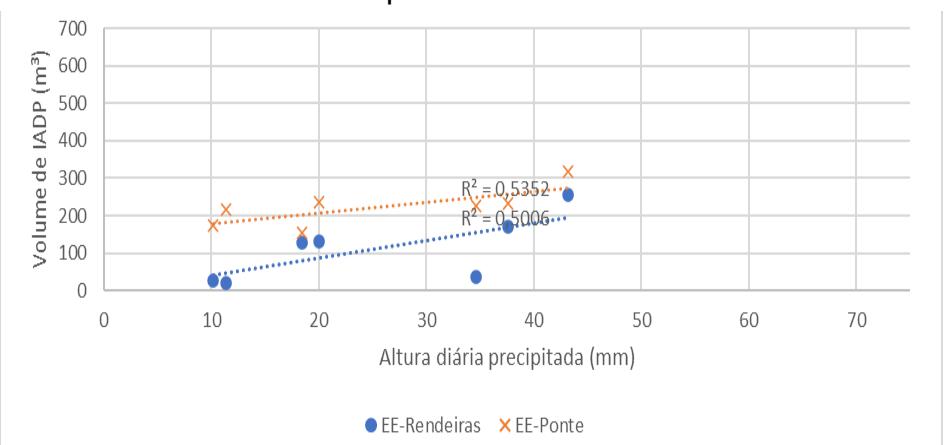


Figura 48 - Relação entre precipitação diária e IADP em evento chuvoso após 8 dias sem chuva.

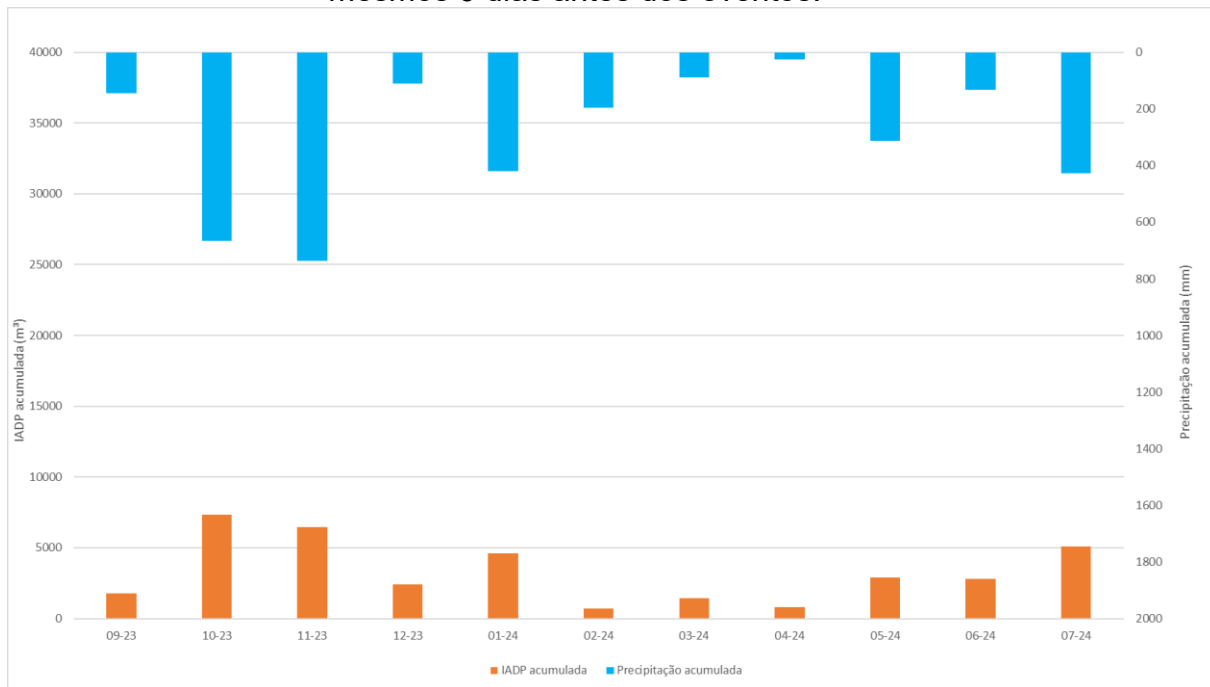


Em uma análise dos gráficos representados pelas Figuras 41 a 48, é possível perceber que para os dois subsistemas a correlação entre a altura precipitada e o volume de infiltração e afluxo correspondente é mais forte a medida em que os eventos se baseiam em um maior número de dias sem chuva antes do evento chuvoso significativo, o que corrobora para hipótese de que ocorre a influência de afluxo tardio nos eventos. Para o subsistema Ponte a melhor correlação observada foi no cenário de 3 dias sem chuva antes do evento, porém para o cenário seguinte de 4 dias sem chuva a correlação diminuiu e volta a aumentar a medida que se consideram mais dias anteriores sem chuva, até que se atinja o cenário de 5 e 6 dias sem chuva com uma correlação de 0,77, que decai bastante para os próximos cenários, o que pode ser explicado por um número muito pequeno de pontos amostrais nos cenários com mais de 7 dias anteriores sem chuva. Já para o subsistema Rendeiras a melhor correlação observada foi nos cenários de 5 e 6 dias sem chuva antes do evento.

Diante do comportamento observado nos cenários avaliados para os dois subsistemas, é possível constatar que a influência do afluxo tardio no volume bombeado pelos subsistemas do SES Lagoa da Conceição ocorre em até 5 a 6 dias após um evento chuvoso significativo.

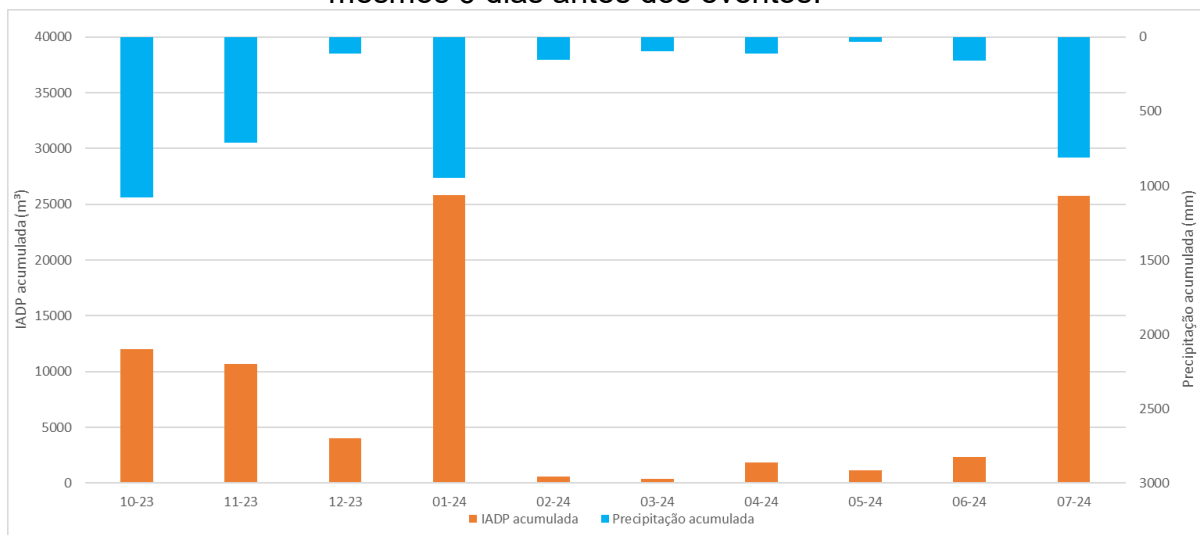
A partir desta constatação, foi realizada a análise de todos os eventos chuvosos significativos no período da pesquisa considerando a influência do afluxo tardio na infiltração e afluxo devido à precipitação. Para isso plotou-se a precipitação acumulada dos últimos 6 dias antes do evento chuvoso significativo e o valor de infiltração e afluxo acumulado dos mesmos 6 dias. A determinação do IADP acumulado foi feita com base na diferença entre o volume total acumulado dos últimos 6 dias antes do evento chuvoso significativo e o volume médio acumulado de 6 dias de tempo seco, por estação do ano. Nas Figuras 49 e 50 estão representados os valores mensais acumulados dos dois subsistemas avaliados, em termos de precipitação acumulada dos últimos 6 dias antes de todos eventos chuvosos significativos e a infiltração e afluxo acumulada dos mesmos 6 dias anteriores aos eventos chuvosos. Já a correlação entre esses dois parâmetros está apresentada na Figura 51.

Figura 49 – EE-Rendeiras - Análise mensal da infiltração e afluxo devido à precipitação acumulada dos últimos 6 dias antes dos eventos chuvosos significativos* em comparação com a precipitação total acumulada dos mesmos 6 dias antes dos eventos.



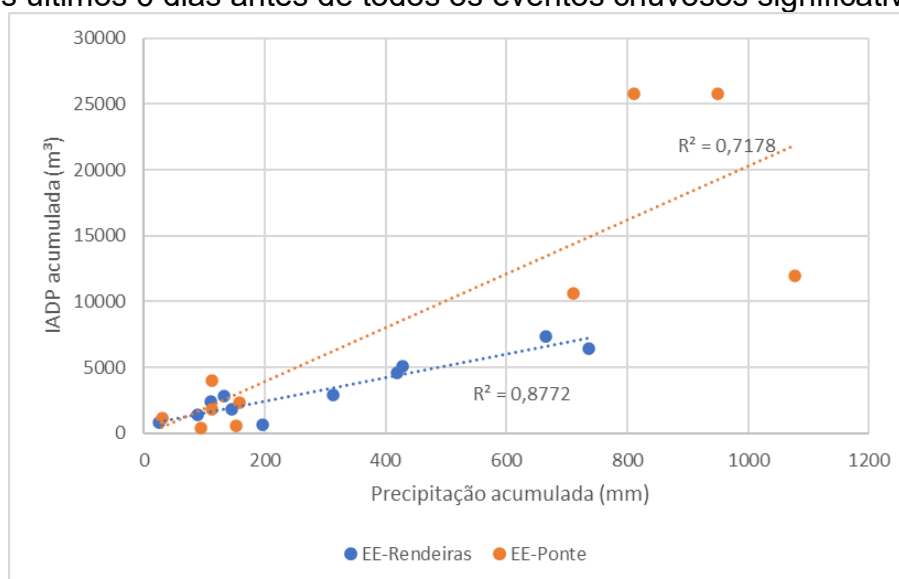
*Dias com precipitação diária superior a 10 mm.

Figura 50 - EE-Ponte - Análise mensal da infiltração e afluxo devido à precipitação acumulada dos últimos 6 dias antes dos eventos chuvosos significativos* em comparação com a precipitação total acumulada dos mesmos 6 dias antes dos eventos.



*Dias com precipitação diária superior a 10 mm.

Figura 51 - Relação entre precipitação mensal acumulada e IADP acumulado dos últimos 6 dias antes de todos os eventos chuvosos significativos*.



*Dias com precipitação diária superior a 10 mm.

Avaliando os gráficos das Figuras 49 a 51 é possível perceber uma melhor correlação entre a altura precipitada e o valor de IADP, quando se leva em consideração o efeito do afluxo tardio sobre os subsistemas, ou seja, neste caso quando se configura o efeito acumulado dos últimos 6 dias de precipitação antes do evento chuvoso significativo, o que corrobora para a hipótese de que o sistema é influenciado pelo efeito de afluxo tardio.

Após a avaliação da influência do afluxo tardio para a determinação do IADP foi aplicada a metodologia utilizada por Lamin e Sezerino (2012) adaptada para o comportamento típico do SES Lagoa da Conceição, onde primeiramente foram selecionados os eventos chuvosos significativos que foram precedidos de no mínimo seis dias sem chuva.

Durante o período de setembro de 2023 a setembro de 2024 foram selecionados oito eventos. Nos gráficos representados através das Figuras 52 a 59, é possível observar a variação de vazões conforme a precipitação, através da comparação entre as vazões médias horárias ao longo do dia chuvoso significativo e a média das vazões horárias dos últimos 3 dias sem chuva.

Figura 52 - Vazão e precipitação horária ao longo de 24 horas nos 2 subsistemas em 28/10/23, com P=43,2 mm.

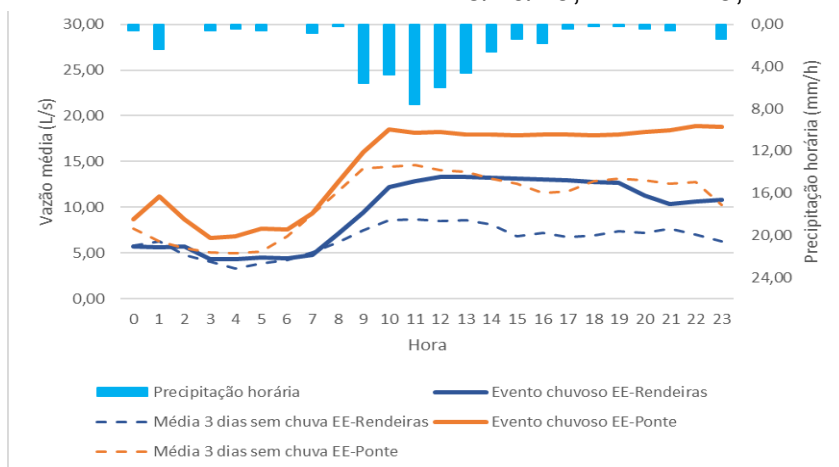


Figura 53 - Vazão e precipitação horária ao longo de 24 horas nos 2 subsistemas em 25/02/24, com P=34,6 mm.

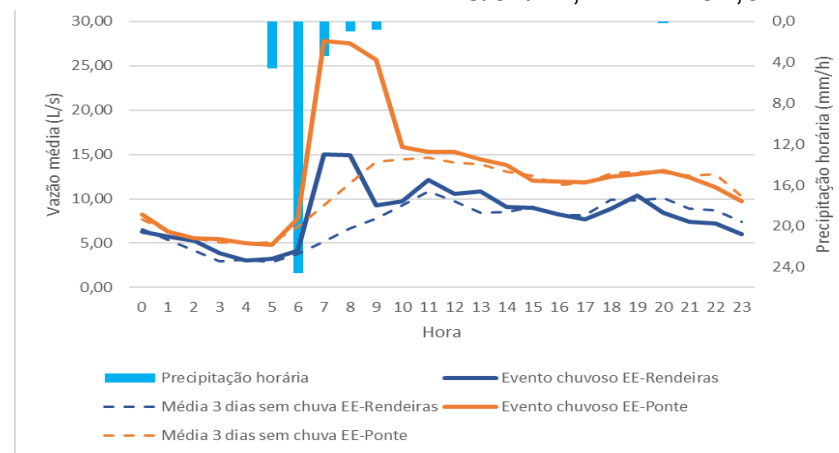


Figura 54 - Vazão e precipitação horária ao longo de 24 horas nos 2 subsistemas em 05/04/24, com P=18,4 mm.

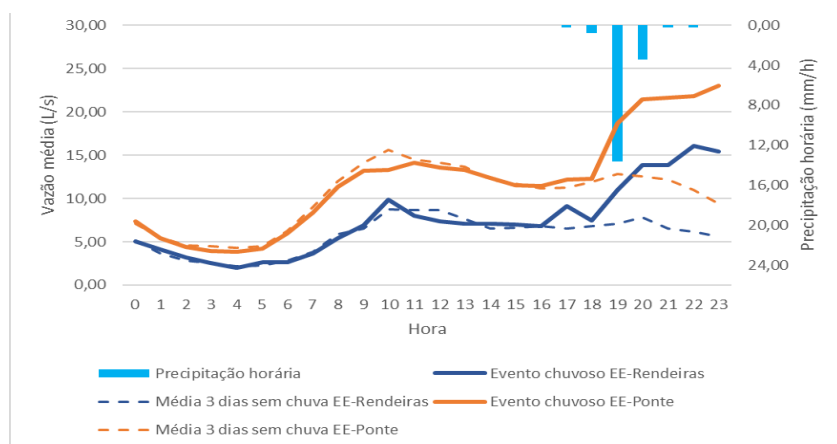


Figura 55 - Vazão e precipitação horária ao longo de 24 horas nos 2 subsistemas em 25/04/24, com P=20,0 mm.

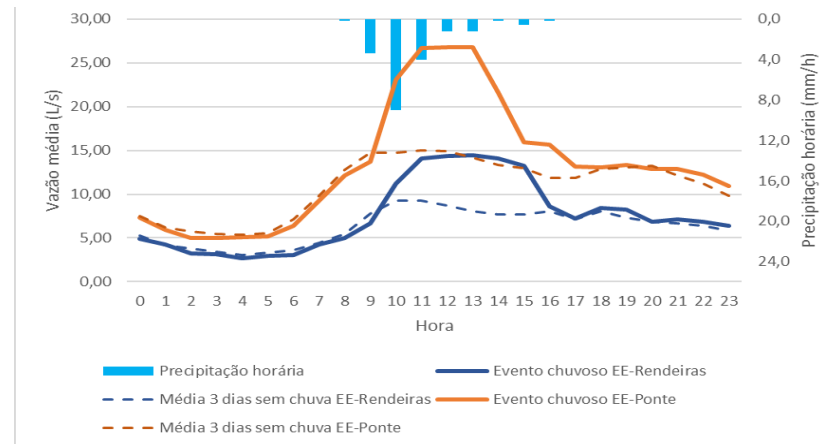


Figura 57 - Vazão e precipitação horária ao longo de 24 horas nos 2 subsistemas em 17/06/24, com P=10,2 mm.

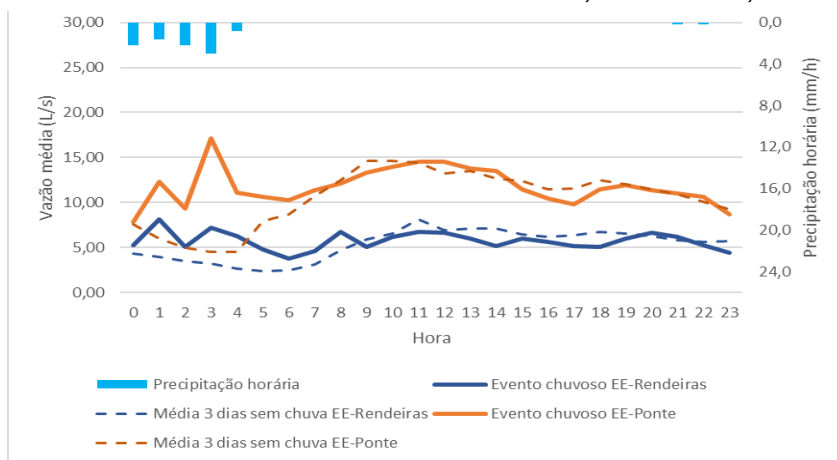


Figura 56 - Vazão e precipitação horária ao longo de 24 horas nos 2 subsistemas em 24/06/24, com P=66,6 mm.

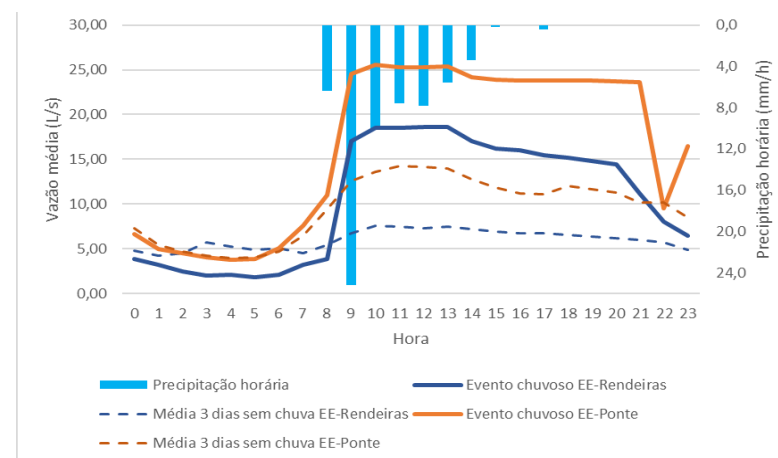


Figura 58 - Vazão e precipitação horária ao longo de 24 horas nos 2 subsistemas em 08/07/24, com P=37,6 mm.

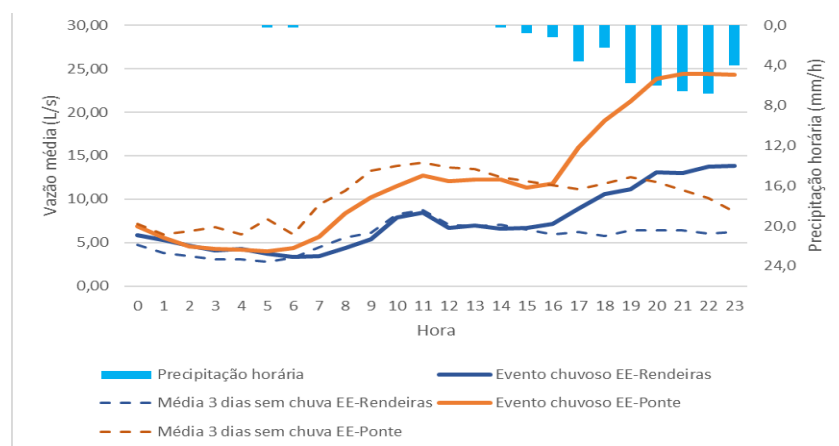
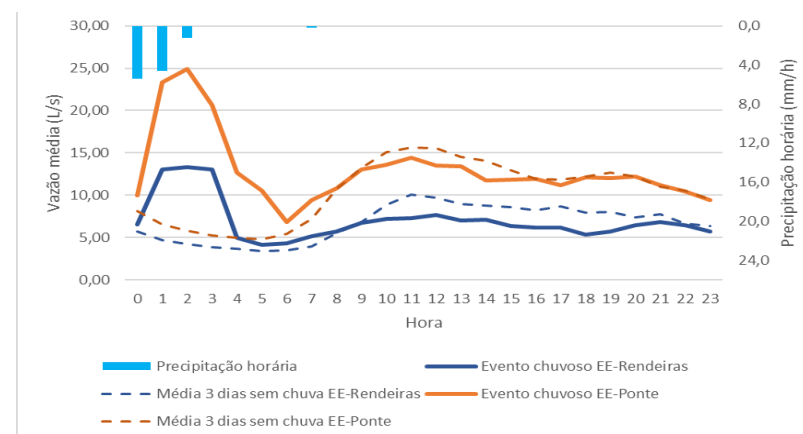


Figura 59 - Vazão e precipitação horária ao longo de 24 horas nos 2 subsistemas em 29/07/24, com P=11,4 mm.



Em uma análise dos gráficos observou-se que para todos os eventos chuvosos significativos selecionados houve elevação das vazões médias de esgoto bombeado nos dois subsistemas avaliados, com comportamento de subida e descida parecidos para os subsistemas. Em todos os eventos o subsistema Ponte teve picos maiores de vazão quando comparado ao subsistema Rendeiras. De modo geral, verificou-se que o aumento de vazão, caracterizado pela infiltração e afluxo devido à precipitação (IADP), ocorreu de forma praticamente imediata em relação aos episódios de chuva, evidenciando a sensibilidade do sistema de esgoto às contribuições indevidas de água pluvial.

Na Tabela 12 é apresentado os dados dos eventos com a precipitação ocorrida no evento chuvoso significativo, precipitação máxima registrada nos dias sem chuva que antecederam o evento, total de dias anteriores sem chuva, o volume diário bombeado pelas elevatórias e o volume de infiltração e afluxo devido à precipitação, obtido através da diferença entre o volume total do dia chuvoso significativo e a média do volume bombeado nos 3 dias sem chuva que antecederam o evento.

Tabela 12 – Eventos selecionados* para análise de IADP em dia chuvoso significativo após 6 dias sem chuva.

(continua)

Evento	Data	Precipitação (mm/dia)	Precipitação Máxima antes do evento (mm/dia)	Dias anteriores sem chuva	EE-Rendeiras			EE-Ponte		
					Volume bombeado elevatória (m³/dia)	Volume de esgoto (m³/dia)	Volume de IADP (m³/dia)	Volume bombeado elevatória (m³/dia)	Volume de esgoto (m³/dia)	Volume de IADP (m³/dia)
Evento 1	25/10/2023	0,0	2,0	11	567,66	567,66	256,02	924,39	924,39	333,1
	26/10/2023	0,0			566,28	566,28		910,89	910,89	
	27/10/2023	2,0			566,45	566,45		946,38	946,38	
	28/10/2023	43,2			822,81	566,79		1260,32	927,22	
Evento 2	22/02/2024	0,0	2,6	7	611,81	611,81	76,52	943,11	943,11	187,04
	23/02/2024	2,4			604,78	604,78		928,25	928,25	
	24/02/2024	0,0			669,49	669,49		876,85	876,85	
	25/02/2024	34,6			705,21	628,69		1103,11	916,07	
Evento 3	02/04/2024	0,0	0,2	11	498,24	498,24	149,80	874,21	874,21	157,39
	03/04/2024	0,0			472,60	472,60		887,83	887,83	
	04/04/2024	0,0			506,84	506,84		887,77	887,77	
	05/04/2024	18,4			642,36	492,56		1040,66	883,27	

(conclusão)

Evento	Data	Precipitação (mm/dia)	Precipitação Máxima antes do evento (mm/dia)	Dias anteriores sem chuva	EE-Rendeiras			EE-Ponte		
					Volume bombeado elevatória (m³/dia)	Volume de esgoto (m³/dia)	Volume de IADP (m³/dia)	Volume bombeado elevatória (m³/dia)	Volume de esgoto (m³/dia)	Volume de IADP (m³/dia)
Evento 4	22/04/2024	0,2	1,8	8	566,89	566,89	108,67	956,79	956,79	210,9633
	23/04/2024	0,0			547,42	547,42		951,34	951,34	
	24/04/2024	0,0			522,13	522,13		915,4	915,4	
	25/04/2024	20,0			654,15	545,48		1152,14	941,1767	
Evento 5	14/06/2024	0,0	0,4	20	438,32	438,32	26,97	866,71	866,71	96,23
	15/06/2024	0,0			488,91	488,91		853,01	853,01	
	16/06/2024	0,4			450,26	450,26		1007,79	1007,79	
	17/06/2024	10,2			486,13	459,16		1005,4	909,17	
Evento 6	21/06/2024	0,0	3,8	6	438,37	438,37	361,44	854,79	854,79	645,0733
	22/06/2024	0,0			703,78	703,78		827,92	827,92	
	23/06/2024	0,0			478,38	478,38		798,07	798,07	
	24/06/2024	66,6			901,62	540,18		1472	826,9267	
Evento 7	03/07/2024	0,2	0,2	9	493,79	493,79	161,98	927,97	927,97	152,88
	04/07/2024	0,0			475,50	475,50		969,55	969,55	
	05/07/2024	0,0			483,63	483,63		830,83	830,83	
	06/07/2024	37,6			646,29	484,31		1062,33	909,45	
Evento 8	26/07/2024	0,0	0,4	11	547,70	547,70	26,64	943,14	943,14	216,4567
	27/07/2024	0,0			610,08	610,08		921,51	921,51	
	28/07/2024	0,4			586,89	586,89		854,05	854,05	
	29/07/2024	11,4			608,19	581,55		1122,69	906,2333	

* Dias com precipitação diária superior a 10 mm precedidos de no mínimo 6 dias consecutivos com no máximo 4 mm de precipitação diária.

No 1º evento, em 28/10/2023 (primavera), que foi precedido de 11 dias sem chuva com precipitação máxima de 2,0 mm/dia, ocorreu a segunda maior precipitação registrada entre os eventos selecionados (43,2 mm), e com a segunda resposta mais expressiva do sistema, com acréscimos de vazão de 36% no subsistema Ponte e de 31% no subsistema Rendeiras, em relação ao volume médio bombeado nos últimos 3 dias sem chuva.

O segundo evento, ocorrido em 25/02/2024 (verão), foi precedido de 7 dias sem chuva com precipitação máxima de 2,6 mm em um dia. Nesta data foi registrada precipitação total de 34,6 mm e as sobrecargas observadas foram de 20% para o subsistema Ponte e de 11% para o subsistema Rendeiras.

Em 05/04/2024 (outono), foi registrado o terceiro evento, com precipitação total diária de 18,4 mm, precedido de 11 dias sem chuva (com precipitação máxima de 0,2 mm em um dia) e sobrecargas registradas de 18% e 23% para o subsistema

Ponte e Rendeiras, respectivamente. Apesar da precipitação ter sido inferior à do segundo evento, o volume de infiltração e afluxo calculado para a EE-Rendeiras foi superior ao registrado em 25/02/2024.

No evento 4, em 25/04/2024 (outono), o qual foi precedido de 8 dias sem chuva, com precipitação máxima de 1,8 mm, foi registrada uma precipitação total de 20,0 mm. A sobrecarga registrada foi de 22% na EE-Ponte e de 17% na EE-Rendeiras, com comportamento muito semelhante ao 3º evento, com precipitação parecida ocorrida no evento chuvoso significativo.

Para o evento de 17/06/2024 (outono), evento 5, cuja precipitação foi de 10,2 mm em evento precedido por 20 dias sem chuva com precipitação máxima de 0,4mm, registraram-se um dos menores incrementos de vazão entre os eventos analisados - 11% para a EE-Ponte e apenas 6% de sobrecarga na EE-Rendeiras. Esse resultado sugere que, para precipitações próximas do limite de caracterização de eventos significativos (10 mm), o sistema de esgoto ainda é impactado, porém em proporção mais moderada.

O sexto evento, ocorrido em 14/06/2024 (inverno), foi precedido de 6 dias sem chuva com precipitação máxima de 3,8 mm em um dia. Nesta data foi registrada a maior precipitação diária de todos os eventos, de 66,6 mm, que também corresponderam as maiores sobrecargas observadas nos eventos selecionadas, ou seja, acréscimo de 78% para o subsistema Ponte e de 40% para o subsistema Rendeiras. Tal comportamento evidencia a elevada sensibilidade da rede às contribuições de água pluvial, particularmente em situações de precipitação mais intensa, caracterizando-se como um evento crítico para a avaliação do afluxo devido à precipitação (IADP).

O evento de número 7, em 06/07/2024 (inverno), no qual foi registrada uma precipitação total de 37,6 mm, foi precedido de 9 dias sem chuva, com precipitação máxima de 0,2 mm. A sobrecarga registrada foi de 17% na EE-Ponte e de 25% na EE-Rendeiras. A precipitação total deste evento é bem próxima a registrada no 2º evento, porém a sobrecarga do evento 7 (17% para a EE-Ponte e 25% para a EE-Rendeiras) foi mais elevada do que a registrada em 25/02, e esteve mais próxima ao comportamento do 3º evento, em que a precipitação total do dia chuvoso significativo era de apenas 18,4 mm.

Por fim, no evento de 29/07/2024 (inverno), com precipitação de 11,4 mm, o qual foi precedido de 11 dias sem chuva com precipitação máxima de 0,4 mm, o subsistema Ponte apresentou uma elevação mais expressiva, de 24%, enquanto que o subsistema Rendeiras apresentou uma variação de 5% sobre o volume médio de tempo seco. Em comparação deste episódio com o evento 5, em que a precipitação do dia foi muito próxima, observa-se bastante diferença entre os volumes bombeados pela EE- Rendeiras, enquanto que a sobrecarga na EE-Ponte para os dois eventos foi bem próxima.

Essa diferença de comportamento entre os subsistemas indica que fatores locais, podem exercer influência significativa sobre a resposta do sistema à entrada de águas pluviais.

Em síntese, a análise específica dos eventos evidencia que, embora haja tendência de maior impacto nos episódios de precipitação mais intensa, não se estabelece uma relação linear direta entre o volume de chuva e a magnitude do IADP. Tal comportamento reforça a necessidade de avaliações individualizadas para cada sistema.

Da Figura 60 até a 67 estão plotados os volumes de infiltração e afluxo em decorrência da precipitação nos eventos selecionados, em que o IADP representa a diferença entre o volume bombeado no dia da precipitação e o volume médio dos 3 dias secos antes do evento chuvoso.

Figura 60 – Volume horário de IADP no evento de 28/10/23 (P=43,2mm) e nos dois dias seguintes.

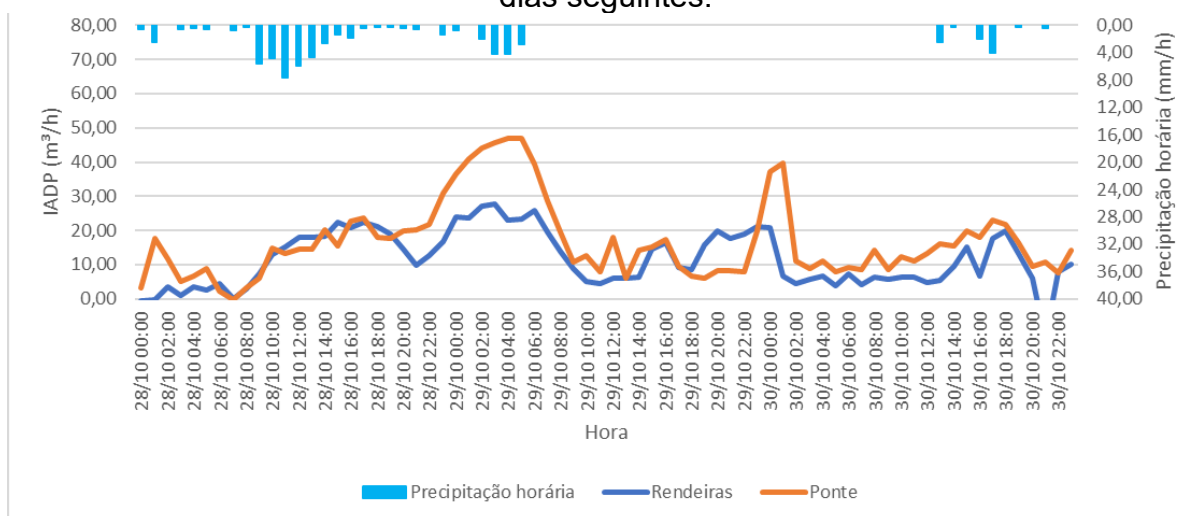


Figura 61 – Volume horário de IADP no evento de 25/02/24 (P=34,6 mm) e nos dois dias seguintes.

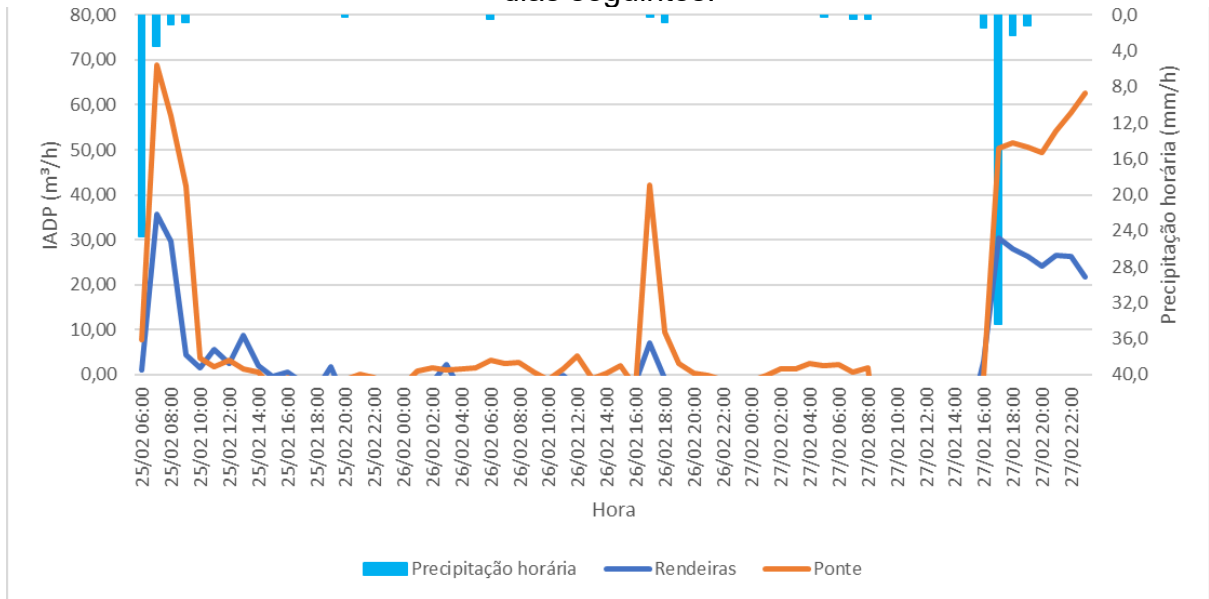


Figura 62 – Volume horário de IADP no evento de 05/04/24 (P=18,4 mm) e nos dois dias seguintes.

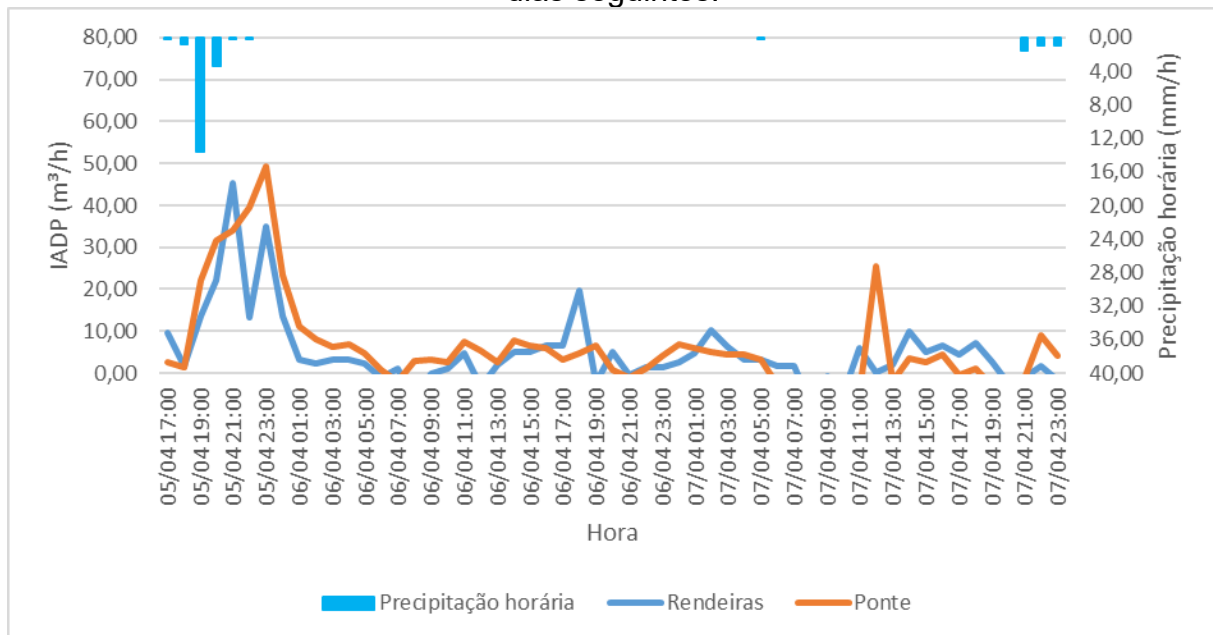


Figura 63 — Volume horário de IADP no evento de 25/04/24 (P=20,0 mm) e nos dois dias seguintes.

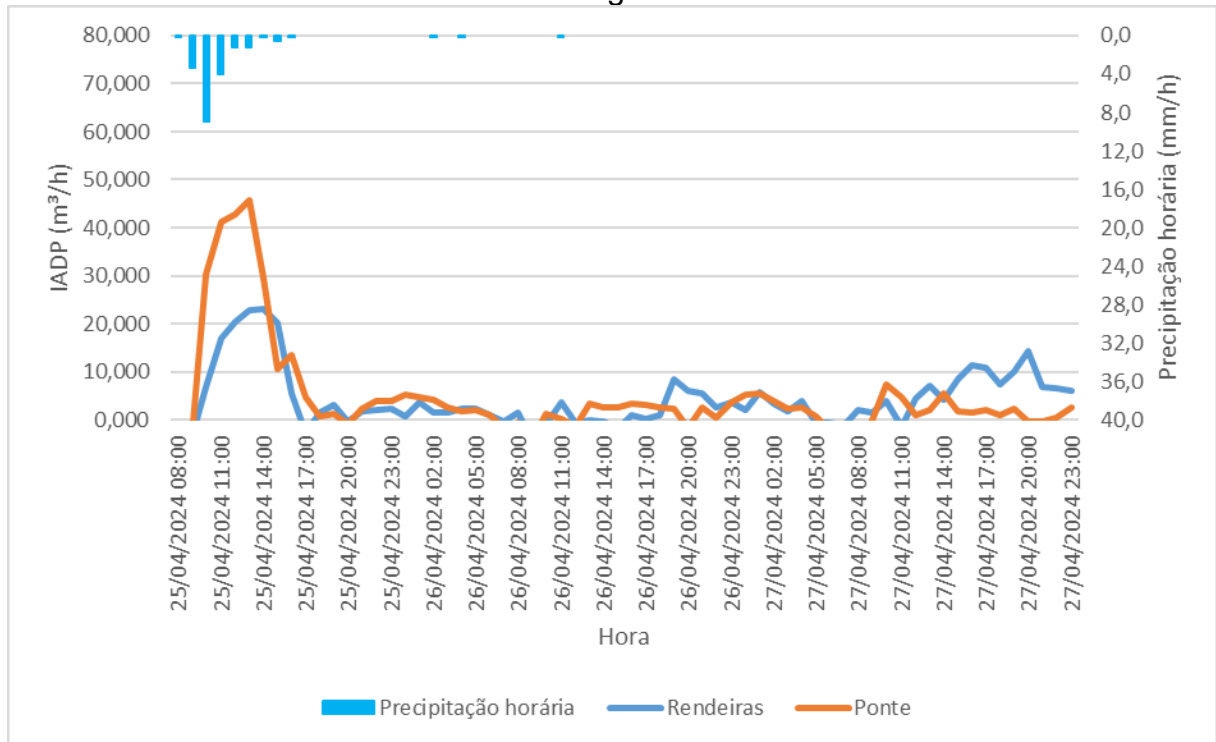


Figura 64 — Volume horário de IADP no evento de 17/06/24 (P=10,2 mm) e nos dois dias seguintes.

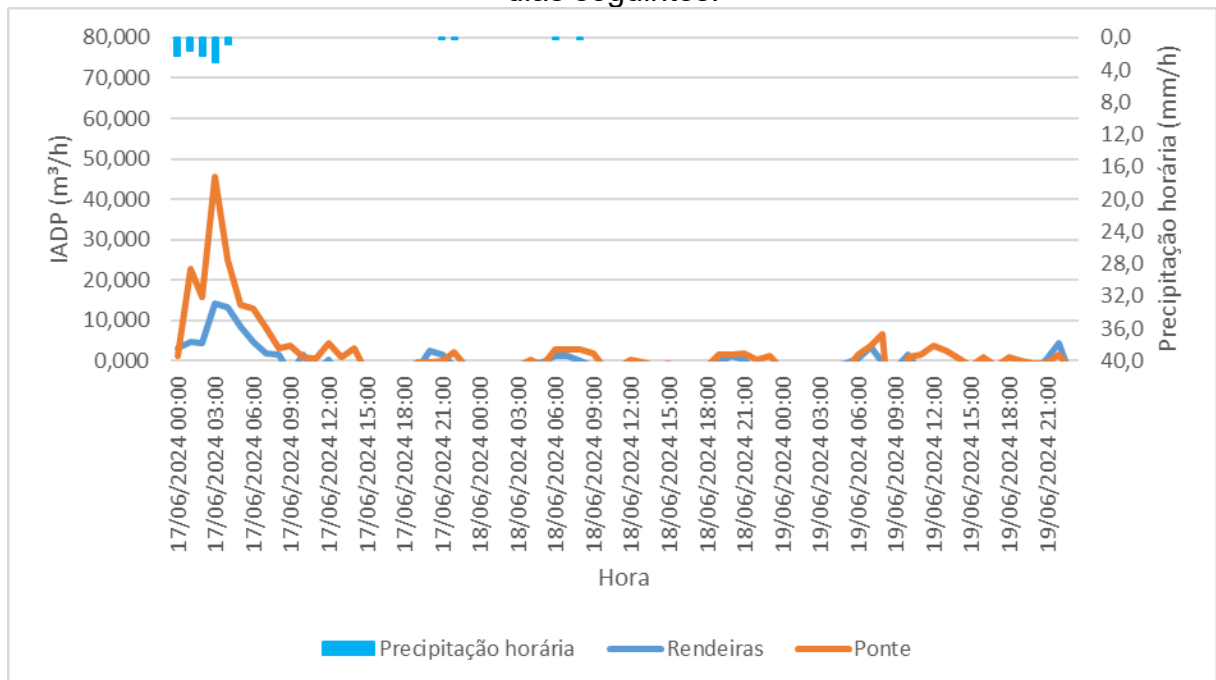


Figura 65 — Volume horário de IADP no evento de 24/06/24 (P=66,6 mm) e nos dois dias seguintes.

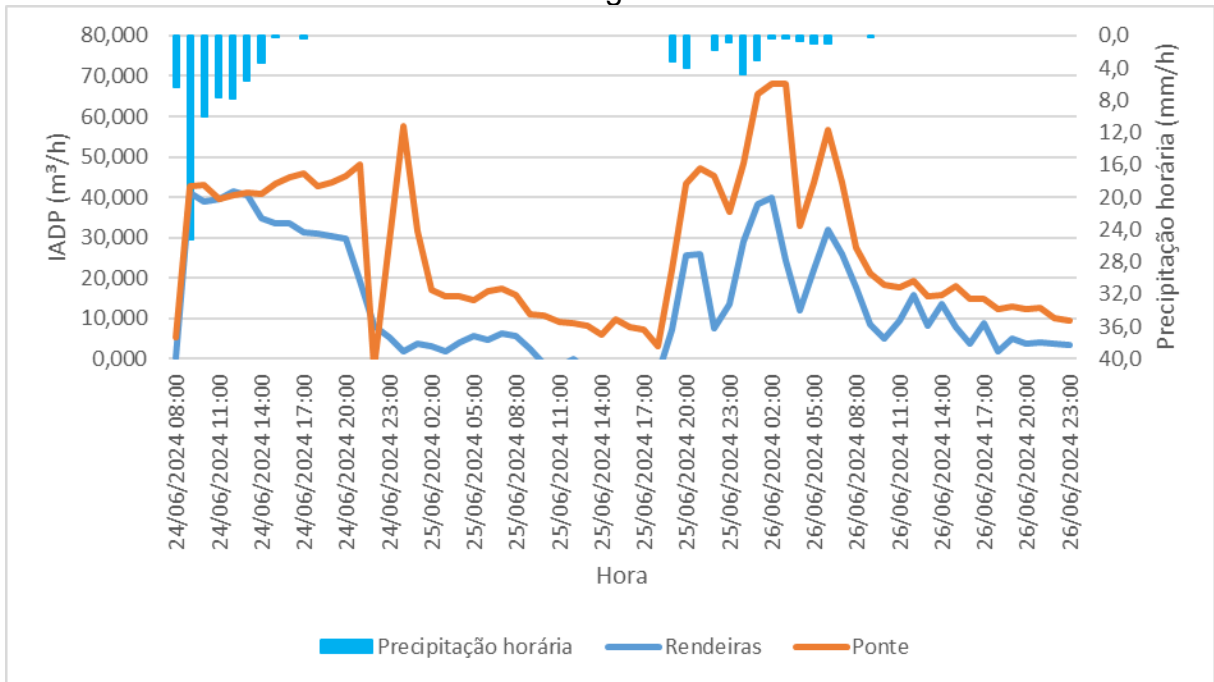


Figura 66 - Volume horário de IADP no evento de 06/07/24 (P=37,6 mm) e nos dois dias seguintes.

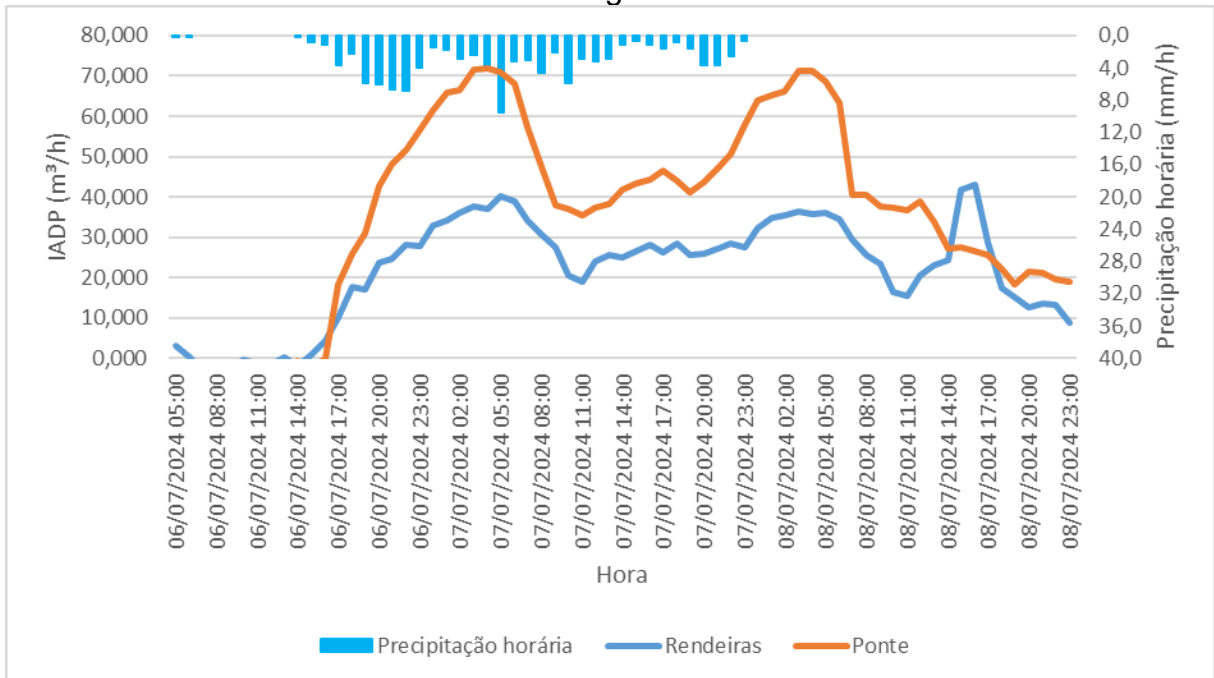
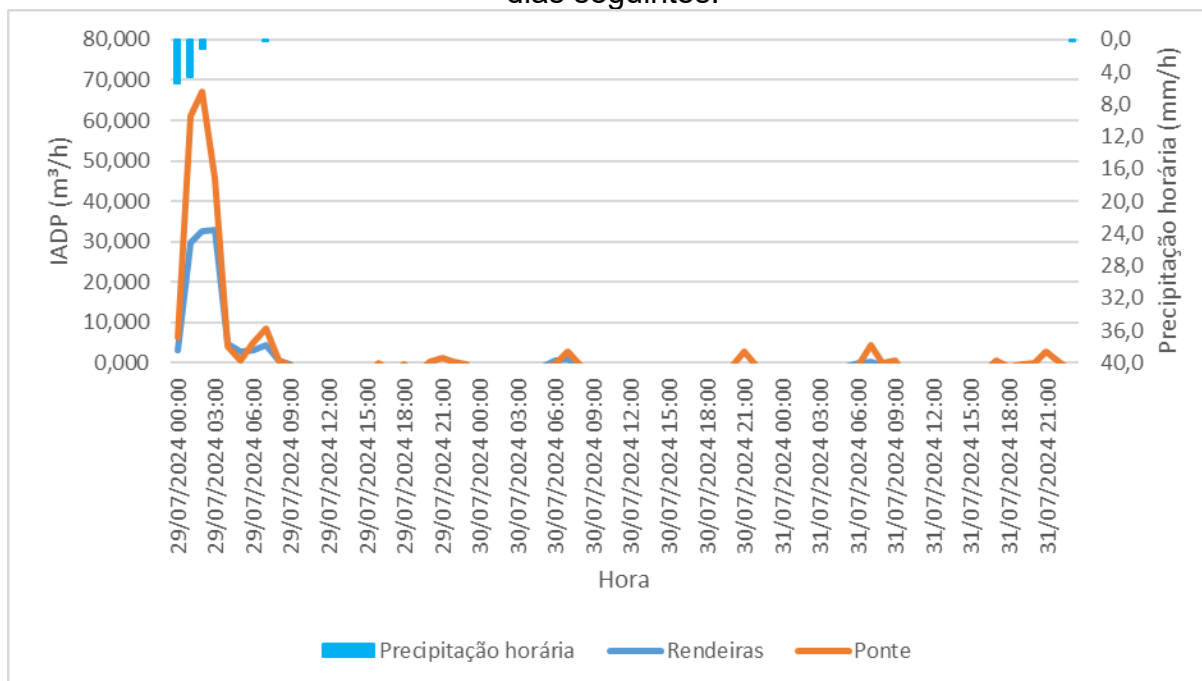


Figura 67 - Volume horário de IADP no evento de 29/07/24 (P=11,4 mm) e nos dois dias seguintes.

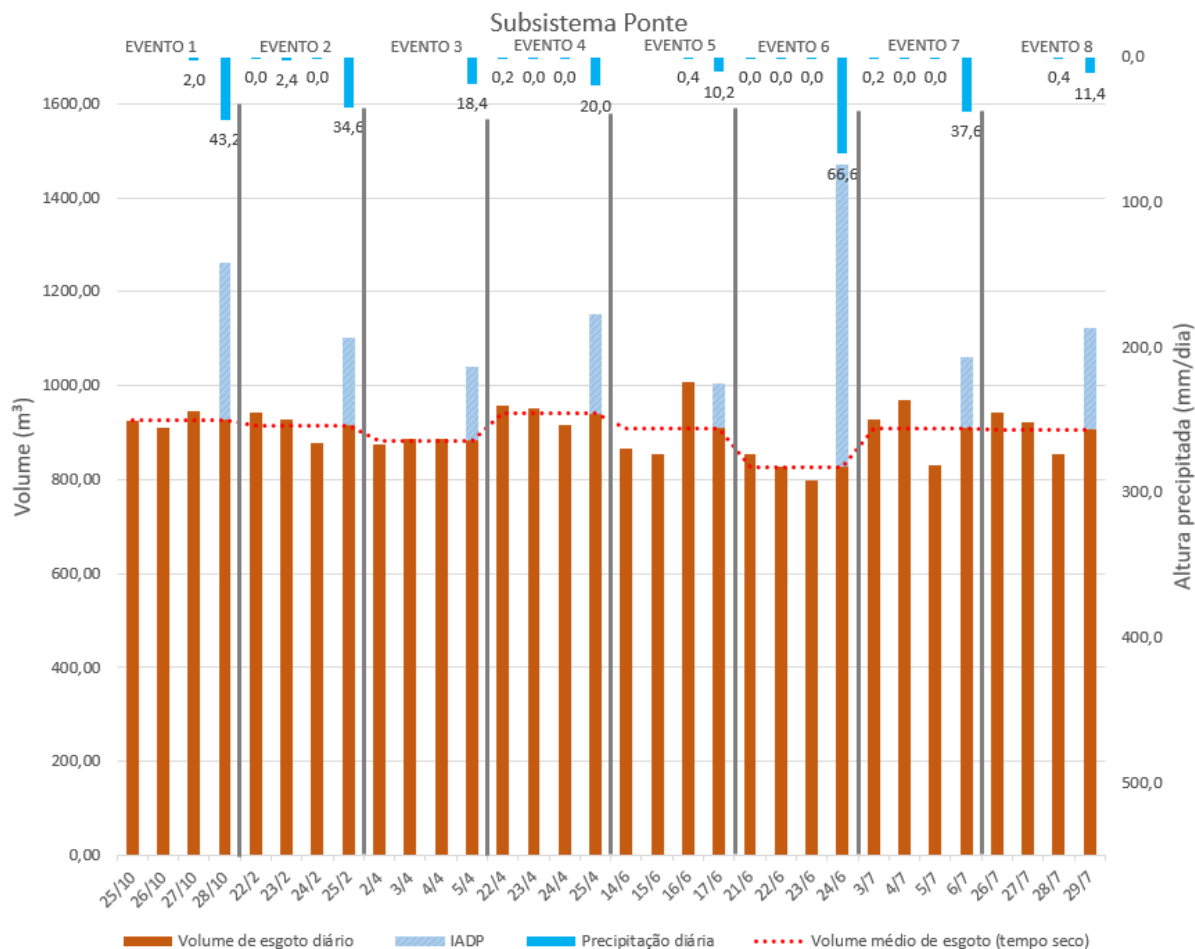


Os gráficos de IADP mostram que o comportamento dos dois subsistemas foi semelhante ao comportamento ao gráfico das variações de vazões bombeadas, em que para ambos os sistemas os picos e descidas foram semelhantes, com a diferença de que no subsistema Ponte em todos os eventos ocorreram picos mais elevados de IADP.

Para os eventos de 28/10 e 25/02 observou-se um comportamento atípico de aumento no valor de IADP alguns dias após o evento chuvoso, que pode estar relacionada a alguma variação pontual no consumo de água ou problema operacional no SES.

Nas Figuras 68 e 69 é possível visualizar os valores de infiltração e afluxo devido à precipitação, os volumes de esgoto bombeados nos eventos selecionados com a respectiva altura de precipitação correspondente, bem como o volume médio de tempo seco para os dois subsistemas.

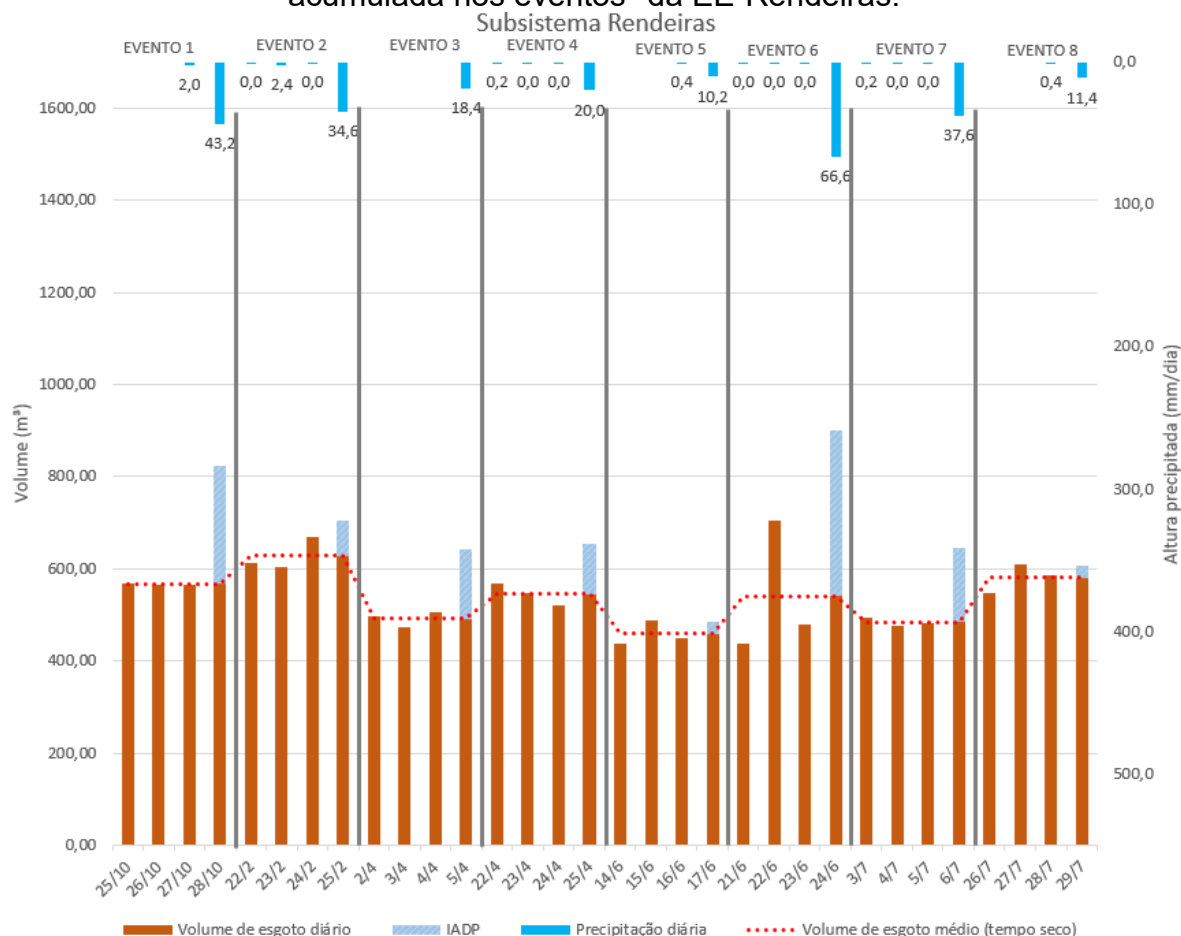
Figura 68 - Volumes diários bombeados e respectivos IADP e precipitação acumulada nos eventos* da EE-Ponte.



* Dias com precipitação diária superior a 10 mm precedidos de no mínimo 6 dias consecutivos com no máximo 4 mm de precipitação diária.

Analisando as figuras é possível perceber que houve variação nos volumes médios de esgoto de tempo seco principalmente no subsistema Rendeiras, o que pode ser explicado pela variação de população flutuante ao longo do ano na região de estudo, que está diretamente relacionada ao volume de esgoto produzido. Nota-se também que o evento de maior precipitação foi o que correspondeu ao maior volume de IADP nos dois subsistemas, no entanto o comportamento não foi linear para os outros eventos chuvosos significativos.

Figura 69 - Volumes diários bombeados e respectivos IADP e precipitação acumulada nos eventos* da EE-Rendeiras.

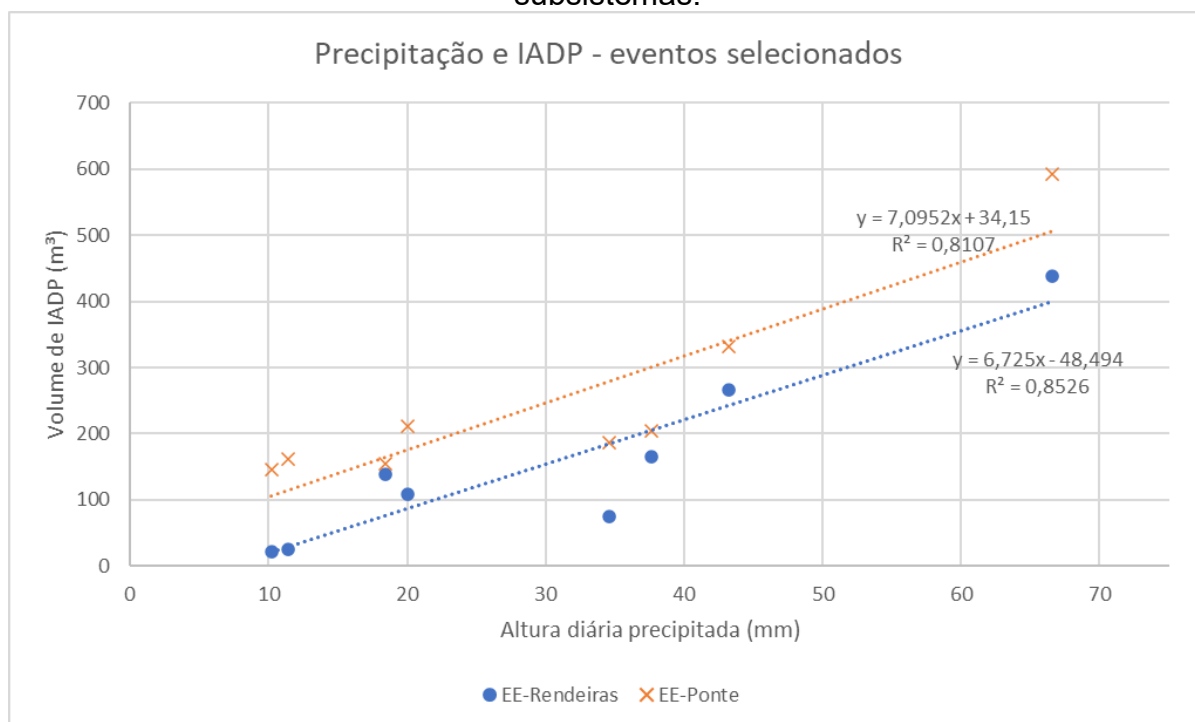


* Dias com precipitação diária superior a 10 mm precedidos de no mínimo 6 dias consecutivos com no máximo 4 mm de precipitação diária.

A diferença de comportamento do IADP para os dois subsistemas pode ser observada através do gráfico apresentado na Figura 70, que correlaciona o comportamento dos volumes de IADP às respectivas alturas precipitadas, em que para esta análise foi considerada que a vazão de tempo seco é a média dos últimos 3 dias sem chuva antes do evento chuvoso significativo. A linha de tendência para o subsistema Ponte apresentou coeficiente de determinação igual a 0,8107, enquanto que do subsistema Rendeiras apresentou um coeficiente de determinação igual a 0,8526. Estes resultados demonstram que é possível inferir que para os dois subsistemas analisados não há uma forte correlação direta entre a altura precipitada no dia e o volume de infiltração e afluxo devido à precipitação. Em comparação com o trabalho realizado por Lamin e Sezerino (2012), em que foi utilizada a mesma metodologia para determinar a linha de tendência do comportamento do IADP no

sistema de esgoto no município de Herval d'Oeste, percebe-se que há uma grande diferença entre os coeficientes de determinação desta pesquisa, uma vez que para o referido trabalho chegou-se ao valor de 0,9918 de coeficiente de determinação para a linha de tendência.

Figura 70 - Volume de IADP em relação à altura pluviométrica dos dois subsistemas.*



* Condições de contorno: Dias com precipitação diária superior a 10 mm precedidos de no mínimo 6 dias consecutivos com no máximo 4 mm de precipitação diária.

A baixa relação entre altura precipitada e IADP pode estar relacionada a possíveis extravasamentos de esgoto na rede coletora nos eventos chuvosos, uma vez que este volume extravasado não é contabilizado pelo macromedidor na estação elevatória. Outros eventos como obstrução da rede coletora também podem ter ocasionado extravasamentos, desta forma interferindo nos volumes de esgoto bombeados. Importante também mencionar que por se tratar de sistema de esgoto em região de bastante influência de população flutuante, as variações de esgoto produzido ao longo dos dias também podem influenciar na diferenciação da parcela de esgoto doméstico e da parcela de infiltração e afluxo devido à precipitação.

Por fim, na Tabela 13 são apresentadas as taxas de IADP por extensão de rede coletora e o incremento de volume bombeado nos respectivos eventos. As taxas

de IADP variaram de 0,04 a 0,55 L/s.km, com incremento de vazão de 4% a 40% para o subsistema Rendeiras. Já para o subsistema Ponte, as taxas de IADP variaram de 0,11 a 0,74 L/s.km, com sobrecarga variando de 11% a 78% seco com relação a vazão média dos dias sem chuva que antecederam os eventos.

Tabela 13 – Taxas de IADP por evento selecionado para os dois subsistemas.*

Evento	Data	Precipitação total (mm/dia)	EE- Rendeiras		EE-Ponte	
			Taxa de IADP (L/s.km)	%	Taxa de IADP (L/s.km)	%
1	28/10/2023	43,2	0,39	31%	0,38	36%
2	25/02/2024	34,6	0,12	11%	0,21	20%
3	05/04/2024	18,4	0,23	23%	0,18	18%
4	25/04/2024	20,0	0,16	17%	0,24	22%
5	17/06/2024	10,2	0,04	6%	0,11	11%
6	24/06/2024	66,6	0,55	40%	0,74	78%
7	06/07/2024	37,6	0,25	25%	0,18	17%
8	29/07/2024	11,4	0,04	4%	0,25	24%

* Condições de contorno: Dias com precipitação diária superior a 10 mm precedidos de no mínimo 6 dias consecutivos com no máximo 4 mm de precipitação diária.

Em comparação com resultados de trabalhos anteriores verifica-se que os valores encontrados estão dentro da faixa de variação da Tabela 14, no entanto em comparação com o trabalho de Broering (2023), que foi realizado no mesmo município que esta pesquisa, é possível notar uma grande diferença de faixa de valores de IADP, uma vez que em seu trabalho o coeficiente variou de 0,7 a 1,86 L/s.km, enquanto que para os eventos avaliados nesta pesquisa a variação foi de 0,04 a 0,74 L/s.km.

Tabela 14 - Comparação dos valores obtidos de IADP para esta pesquisa com outros trabalhos.

(continua)

Autor	Local	Ano	Percentual de sobrecarga sobre vazão média de tempo seco (%)	Taxa de contribuição de IADP (L/s.km)
ABNT	Brasil	1992	-	até 6,0
Hanai e Campos	Araraquara	1997	-	0,16 a 0,19
Festi	Borborema	2006	1,42 a 251,2	0,08 a 12,15

(conclusão)

Autor	Local	Ano	Percentual de sobrecarga sobre vazão média de tempo seco (%)	Taxa de contribuição de IADP (L/s.km)
Lamin e Sezerino	Joaçaba e Herval d'Oeste	2011	-	0,12 a 0,54
Broering	Florianópolis - bairro Santa Mônica	2018	69,3 a 182,6	0,70 a 1,86
Este trabalho*	Florianópolis - bairro Lagoa da Conceição	2023/2024	4 a 78	0,04 a 0,74

* Condições de contorno: Dias com precipitação diária superior a 10 mm precedidos de no mínimo 6 dias consecutivos com no máximo 4 mm de precipitação diária.

Fonte: a autora.

Importante destacar que a infiltração e afluxo devido à precipitação não são contabilizados no dimensionamento dos sistemas de esgotamento sanitário do Brasil, conforme preconizam as normas para dimensionamento de sistema de esgoto da ABNT, porém verifica-se que para o sistema avaliado nesta pesquisa a sobrecarga por águas indevidas pode chegar a mais de 78% da vazão média de tempo seco.

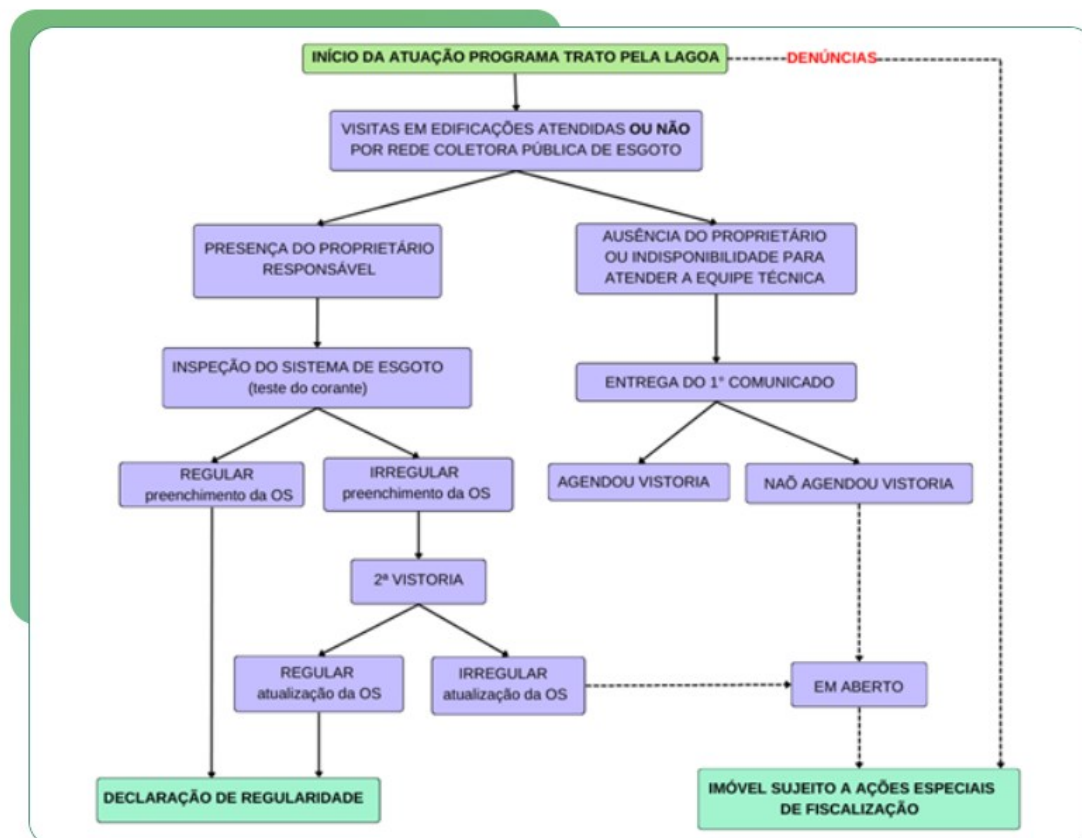
4.9 AVALIAÇÃO QUALITATIVA

A concessionária responsável pelo sistema de esgoto realiza fiscalizações periódicas na rede coletora para avaliar possíveis ligações irregulares. As vistorias mais recentes na região do SES Lagoa da Conceição foram realizadas pelos programas Se Liga na Rede e Trato pela Lagoa. Ambos são programas executados em parceria com a Prefeitura Municipal, sendo o primeiro voltado exclusivamente para verificação das irregularidades nos imóveis abrangidos pela rede de esgoto em operação, e o segundo um programa ampliado que vistoria também outras áreas da Lagoa da Conceição não atendidas por sistema coletivo de esgoto, além de contar com outras ações de educação ambiental e conscientização da população sobre a importância de um sistema de tratamento de esgoto adequado, seja ele individual ou coletivo.

As fiscalizações se iniciam com aviso antecipado aos proprietários dos imóveis sobre a necessidade de agendamento da vistoria. Após a inspeção a ligação ou sistema individual de tratamento é classificado como regular ou irregular. No caso de necessidade de correção de problemas, o proprietário é notificado para se regularizar em um prazo definido. Após a 2ª visita, os imóveis ainda não regularizados

estão sujeitos a ações especiais de fiscalização, conforme apresentado no fluxograma da Figura 71.

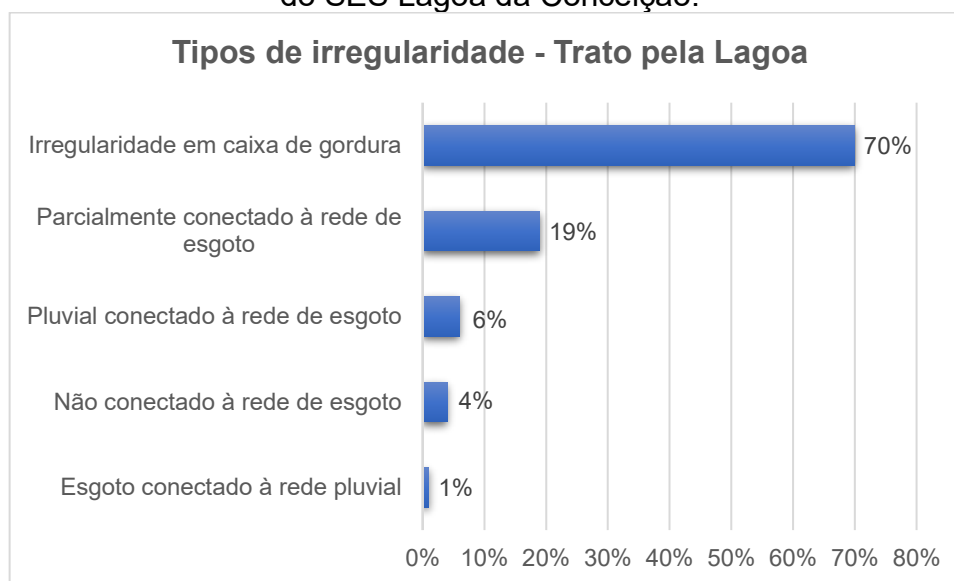
Figura 71 - Fluxograma de atuação da fiscalização do Programa Trato pela Lagoa.



Fonte: Disponível em: <https://seslagoa.com.br/atendimento-adequado-do-esgoto/trato-pela-lagoa/>. Acesso em 16/02/2025.

De acordo com dados disponibilizados pela CASAN, até fevereiro de 2024 o programa Trato pela Lagoa já havia vistoriado 1.693 dos imóveis que estão conectados à rede coletora do SES Lagoa da Conceição, ou seja, menos da metade do total de imóveis com rede de esgoto. Deste total, 55% dos imóveis possuíam alguma irregularidade na ligação até a última visita que foi realizada. Dentre os tipos de irregularidades constatadas, a de maior ocorrência está relacionada a caixa de gordura inadequada (70%), seguida por imóvel parcialmente conectado à rede de esgoto (19%), sendo a terceira maior ocorrência a de pluvial conectado à rede de esgoto (6%), e por fim, imóveis não conectados à rede de esgoto (4%) ou com esgoto conectado à rede pluvial (1%), conforme gráfico representado na Figura 72.

Figura 72 - Percentual de irregularidades encontradas nas fiscalizações dos imóveis do SES Lagoa da Conceição.



Fonte: CASAN, 2024.

Em uma análise dos números de irregularidades, percebe-se que um pequeno percentual dos imóveis vistoriados possui ligação clandestina da rede pluvial ao esgoto. As verificações de irregularidades nos imóveis foram realizadas através de teste de corante e em alguns locais com teste de fumaça. Segundo informações do Programa, na primeira vistoria 8% dos imóveis estavam irregulares, e após as orientações e notificações dos fiscais do programa, este número baixou para 6% dos imóveis com drenagem pluvial interligada na rede de esgoto.

Da mesma maneira as fiscalizações realizadas pelo programa Se Liga na Rede na região da Lagoa da Conceição indicaram que 6% dos imóveis vistoriados possuíam ligações irregulares de drenagem pluvial conectada à rede coletora de esgoto.

Importante destacar que apenas uma parcela dos imóveis foi vistoriada, o que não representa toda a dinâmica do SES Lagoa da Conceição. Os programas de fiscalização dos imóveis conectados à rede coletora desempenham um papel fundamental na mitigação dos impactos ambientais gerados pelo lançamento irregular de esgoto e pela sobrecarga da rede coletora devido à entrada indevida de água pluvial. Para que os resultados sejam garantidos a longo prazo, é fundamental a continuidade da fiscalização e a conscientização da população sobre a importância do descarte adequado dos efluentes domésticos.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência das águas indevidas em um sistema de esgotamento sanitário localizado em região litorânea, tomando como estudo de caso o sistema da Lagoa da Conceição, em Florianópolis. A pesquisa foi conduzida a partir da instalação de macromedidores de vazão em duas estações elevatórias, aliada ao monitoramento de dados de precipitação local, o que permitiu a aplicação de metodologias consolidadas para a quantificação da infiltração e do afluxo devido à precipitação. A partir dessa abordagem, foi possível obter informações inéditas sobre o comportamento do sistema frente às condições climáticas e hidrogeológicas específicas da área de estudo.

Os resultados indicaram que a infiltração de águas subterrâneas constitui uma parcela significativa e constante da vazão de base, com coeficientes determinados entre 0,26 e 0,43 L/s.km na bacia da Ponte e entre 0,29 e 0,33 L/s.km na bacia das Rendeiras. Esses valores estão de acordo com a faixa reportada na literatura, que variam de 0,01 a 1,7 L/s.km e em conformidade com os valores de referências utilizados pela concessionária de água e esgoto de Florianópolis, que utiliza o valor de 0,4 L/s.km em áreas litorâneas. Verificou-se também que redes mais extensas, como a da Ponte, estão mais sujeitas à entrada de infiltração, confirmando a expectativa de maior contribuição indevida em subsistemas com maior extensão de tubulações e interfaces com o solo. Essa constatação reforça a necessidade de monitoramento e manutenção contínua do sistema de esgoto em áreas litorâneas com lençol freático elevado, onde a pressão do aquífero favorece a entrada de água nas juntas e fissuras da rede.

No que se refere ao afluxo devido à precipitação, observou-se que o sistema apresenta grande sensibilidade a eventos de chuva. Precipitações em torno de 11 mm já foram suficientes para provocar acréscimos moderados de 24% sobre o volume bombeado em tempo seco pelas elevatórias, enquanto chuvas mais intensas resultaram em sobrecargas significativas. O evento extremo registrado, com precipitação acumulada de 66,6 mm em 24 horas, levou ao aumento de 78% da vazão média de tempo seco na bacia da Ponte e de 40% na bacia das Rendeiras, valores que evidenciam a magnitude dos impactos que podem comprometer a operação do sistema. Observou-se ainda que nem sempre eventos de mesma intensidade pluviométrica provocaram respostas equivalentes nas vazões, o que sugere influência

de outros fatores como variações de vazões ao longo dos dias da semana por conta de população flutuante, variação do nível de maré.

Ressalta-se que os valores encontrados se aplicam as condições de contorno aplicadas neste estudo, que são tão importantes quanto aos dados obtidos, em que neste estudo se considerou dia sem chuva como sendo aquele com precipitação total inferior a 4 mm, dias secos os que foram precedidos de 6 dias consecutivos sem chuva e para a análise do IADP os eventos com chuva superior a 10 mm precedidos de dia seco.

Do ponto de vista prático, os resultados obtidos contribuem para a melhoria da gestão do sistema de esgoto da Lagoa da Conceição, ao oferecer parâmetros locais de infiltração e afluxo que podem subsidiar tanto o planejamento de ações corretivas quanto o aprimoramento de diretrizes de projeto. Os dados levantados demonstram a importância de programas de fiscalização e conscientização, como os já implementados pela concessionária, que atuam na identificação e redução de ligações irregulares, bem como na manutenção da rede coletora. A replicabilidade das metodologias empregadas neste estudo constitui, ainda, uma contribuição aplicável a outros sistemas de esgotamento sanitário, permitindo que concessionárias de saneamento realizem diagnósticos similares com recursos acessíveis, otimizando o planejamento de investimentos e intervenções.

Entretanto, algumas limitações devem ser destacadas. O monitoramento foi realizado em apenas duas estações elevatórias, o que restringe a abrangência espacial dos resultados e não permite generalizações para toda a rede da Lagoa da Conceição. O período de acompanhamento, embora significativo, também impôs limitações quanto ao registro de uma maior diversidade de eventos de precipitação precedidos de tempo seco. Outro aspecto a ser considerado refere-se à caracterização da infiltração, que foi estimada pelo método das vazões mínimas noturnas, que depende de diversos fatores para que a amostragem seja realizada com sucesso, como por exemplo funcionamento adequado das elevatórias e dos macromedidores no dia do evento, além de disponibilidade da equipe para a coleta durante o período da madrugada e manhã seguinte. Por fim, ainda que a metodologia seja replicável, sua aplicação em outros contextos dependerá da disponibilidade de dados confiáveis de vazão e precipitação, o que nem sempre está garantido em sistemas de menor porte.

Em síntese, esta pesquisa alcançou seu objetivo ao demonstrar, de forma quantitativa, o impacto das águas indevidas sobre o desempenho do sistema de esgoto em região litorânea, revelando que principalmente a infiltração e o afluxo devido à precipitação representa parcelas substanciais do volume de esgoto bombeado em dias chuvosos, o que é um ponto de atenção, uma vez que essa parcela não é considerada para o dimensionamento do sistema. Através da avaliação do comportamento do sistema após o evento chuvoso, foi possível concluir que para o sistema de esgoto da Lagoa da Conceição os efeitos de infiltração e afluxo devido à precipitação são percebidos por até 6 dias após o evento chuvoso, ou seja, constatou-se o período aproximado em que há influência do afluxo tardio sobre o comportamento do SES.

6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A presente pesquisa contribuiu para o entendimento da influência das águas indevidas em um sistema de esgotamento sanitário litorâneo, mas também evidenciou lacunas que podem ser exploradas em trabalhos futuros. A continuidade das investigações é essencial para o aprimoramento do conhecimento técnico e para a consolidação de práticas mais eficazes de gestão do saneamento.

Uma primeira linha de aprofundamento refere-se à ampliação da área de estudo. A análise concentrou-se em duas estações elevatórias representativas, mas a análise de todo o sistema permitiria compreender de forma mais abrangente a variabilidade espacial da infiltração e do afluxo devido à precipitação no SES Lagoa da Conceição.

Outro aspecto relevante é a extensão temporal do monitoramento. A presente pesquisa contemplou aproximadamente um ano de observações, o que possibilitou registrar eventos significativos de precipitação. No entanto, séries históricas mais longas poderiam fornecer parâmetros mais consistentes.

Também se recomenda o uso de metodologias complementares de medição e diagnóstico. Embora o método das vazões mínimas noturnas tenha se mostrado adequado para a estimativa da infiltração, sua aplicação está sujeita a incertezas e dificuldades de amostragem. Sugere-se então a aplicação de outros métodos para determinação da vazão de infiltração, como por exemplo através de medições de condutividade hidráulica.

Outra perspectiva promissora é a modelagem hidráulica e hidrológica da rede, calibrada com os dados obtidos, podendo ser utilizada para simulações de cenários futuros considerando tanto mudanças climáticas quanto alterações no uso e ocupação do solo.

Por fim, recomenda-se que futuras pesquisas na região da Lagoa da Conceição avancem na avaliação integrada da influência do nível de maré e salinidade no volume de esgoto bombeado, tanto em período de tempo seco como chuvosos.

Assim, a continuidade dos estudos poderá não apenas superar as limitações identificadas, mas também ampliar a aplicabilidade prática dos resultados, contribuindo para o desenvolvimento de metodologias replicáveis em outros contextos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649**: Projetos de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12207**: Projeto de interceptores de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 1992.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano. **Contribuições Indevidas para a Rede de Esgotos**. Revista DAE, São Paulo, n. 120, 1979.

APHA; AWWA; WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**.— Method 4500-P B. Sample Preparation – 5. Persulfate Digestion. 23RD Edition, 2017.

BROERING, Saman Belizario. **Estimativa da infiltração e do afluxo devido à precipitação pluviométrica em uma bacia de esgotamento sanitário em região costeira**. 2023. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2023.

BRUNO, Dario Pinheiro; TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Infiltração de água nos coletores de esgotos sanitários**. Revista DAE, São Paulo, n. 134, p. 23-28, 1983.

CASAN. **Banco de Dados Operacionais e Dados de Fiscalização do Programa Trato pela Lagoa**. Florianópolis, 2024.

CAMPOS, José Roberto *et al.* **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico - Prosab. ABES, Rio de Janeiro, 1999.

CONAUT. **Waterflux - Medidor de vazão sem necessidade de trechos retos - alimentação interna (bateria) ou externa ca/cc**. Embu das Artes, 2021.

CORSAN. Manual de Procedimentos para Projeto e Execução de Parcelamento de Solo. Porto Alegre, 2016.

DE BÉNÉDITTIS, Jerome; BERTRAND-KRAJEWSKI, Jean Luc. **Infiltration in sewer systems: comparison of measurement methods**. Water Science & Technology, Lyon, 52 (3). p. 219-227, 2005.

DIOGO, António Freire *et al.* **An effective and comprehensive model for optimal rehabilitation of separate sanitary sewer system**. Science of the Total Environment, Coimbra, n. 612, p 1042-1057, 2018.

DIRCKX, Geert *et al.* **Dilution of sewage: Is it, after all, really worth the bother?**. Journal of Hydrology, Aartselaar, v. 571, p 437-447, 2019.

EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Banco de dados de variáveis ambientais de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2024.

FESTI, Aparecido Vanderlei. **Estimativa da Infiltração e do Afluxo Devidos à Precipitação na Rede Coletora de Esgoto Sanitário em Município de Pequeno Porte**. 2006. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

HANAI, Frederico Yuri; CAMPOS, José Roberto. **Avaliação da Infiltração na Rede Coletora de Esgoto na Bacia do Ribeirão do Ouro da Cidade de Araraquara – SP**. 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Curitiba, 1997.

INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). **Base de Dados de Normais Climatológicas**. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/NormaisClimatologicas>. Acesso em: 14 de maio de 2025.

KARPF, Christian; KREBS, Peter. **Quantification of groundwater infiltration and surface water inflows in urban sewer networks based on a multiple model approach**, Water Research, Dresden, v.45 p. 3129-3136, 2011.

KRETSCHMER, Florian *et al.* **Discharge Monitoring and Determination of Infiltration Water in Sewer Systems**. 11th International Conference on Urban Drainage, Edinburgh, 2008.

LAMIN, Paulo César; SEZERINO, Pablo Heleno. **Estimativas das infiltrações e afluxo devido à precipitação em uma rede coletora de esgoto**. XVI Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, Maringá, 2012.

LEPOT, Mathieu *et al.* **Detection and quantification of lateral, illicit connections and infiltration in sewers with Infra-Red camera: Conclusions after a wide experimental plan**. Water Research, Delft, v122 p. 678-691, 2017.

LUO, Hao *et al.* **Assessing the system performance of an evolving and integrated urban drainage system to control combined sewer overflows using a multiple-layer based coupled modeling approach**. Journal of Hydrology, Illinois, v603 p. 127-130, 2021.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse**. New York: McGraw-Hill, 1991.

METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos** - 5ª edição, Porto Alegre: AMGH, 2016.

OWOLABI, Titilayo Abimbola *et al.* **Investigating the impact of sewer overflow on the environment: A comprehensive literature review paper**. Journal of Environmental Management, Hong Kong, v. 301, 2022.

PASSERAT, Julien *et al.* **Impact of an intense combined sewer overflow event on the microbiological water quality of the Seine River.** Water Research, v45, p 893-903, 2011.

PETRIE, Bruce. **A review of combined sewer overflows as a source of wastewater-derived emerging contaminants in the environment and their management.** Environmental Science and Pollution Research v28 p. 32095–32110, 2021.

REZAEI, Mohsen; TABESH, Massoud. **Effects of inflow, infiltration, and exfiltration on water footprint increase of a sewer system: A case study of Tehran.** Sustainable Cities and Society, V79, 2022.

SABESP. Norma Técnica Sabesp NTS0025-Ver 5 - Redes Coletoras de Esgotos – Elaboração de Projetos. São Paulo, 2025.

SANTOS, Vanessa. **Disposição de Efluentes Tratados em uma Lagoa.** 2018. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

SOBRINHO, Pedro Alem; TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário.** 3ª edição Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.

SOJOBI, Adebayo Olatunbosun; ZAYED, Tarek. **Impact of sewer overflow on public health: A comprehensive scientometric analysis and systematic review.** Environmental Research, v203, 2022.

SOWBY, Robert B.; JONES, Daniel R. **Practical Statistical Method to Differentiate Inflow and Infiltration in Sanitary Sewer Systems.** Journal of Environmental Engineering, v148(1), 2022.

STAUFER, P.; SCHEIDEGGER, A.; RIERCKEMANN, J. **Assessing the performance of sewer rehabilitation on the reduction of infiltration and inflow.** Dubendorf, Water Research, v46 p. 5185-5196, 2012.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água.** Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2004.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki; BUENO, Rui Cesar Rodrigues Bueno. **Contribuição de Águas Pluviais em Sistema de Esgoto Sanitário no Brasil.** AIDIS p. 20-25 - São Paulo, 2004.

VON SPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, DESA-UFMG, 2ª edição, 2005.

WANG, Moran *et al.* **Uncertainty analysis of a pollutant-hydrograph model in assessing inflow and infiltration of sanitary sewer systems.** Journal of Hydrology, Beijing v. 574, pag. 64-74, 2019.

WANG, Y *et al.* **Assessment of rainfall-derived inflow and infiltration in sewer systems with machine learning approaches.** Water science and Technology, IWA Publishing. vol. 89 (8), p. 1928 – 1945, 2024.

ZHANG, Mingkai *et al.* **Quantifying rainfall-derived inflow and infiltration in sanitary sewer systems based on conductivity monitoring.** Journal of Hydrology, Beijing v. 558 p 174-183. 2018.

ZHANG, Kun; Parolari, Anthony J. **Impact of stormwater infiltration on rainfall-derived inflow and infiltration: A physically based surface–subsurface urban hydrologic model.** Journal of Hydrology, v. 610, 2022.

ZHAO, Zhichao *et al.* **Pin-pointing groundwater infiltration into urban sewers using chemical tracer in conjunction with physically based optimization model.** Water Research, v. 175, 2020.