RASTREAMENTO DA REDUÇÃO DA INFILTRAÇÃO PLUVIAL A PARTIR DE MEDIDAS ESTRUTURAIS E DE FISCALIZAÇÃO DOMICILIAR REALIZADAS NO SES JOINVILLE, SANTA CATARINA

Jaqueline Cremonini[(1)]
Graduada em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. MBA em Sistemas de Abastecimento de Água e Sistemas de Esgotos Sanitários pelo Instituto de Pós-graduação – IPOG.
Diego Brunelli Ghisi[(2)]
Graduado em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Especialista em Gestão Estratégica – Instituto Presbiteriano Mackenzie.

Endereço[(1)]**:** Rua XV de Novembro, 3950 – Bairro Glória – Joinville – SC – CEP: 89.126-202 – Brasil - Tel: +55 (47) 2105-1600 - e-mail: jaqueline.cremonini@aguasdejoinville.com.br

RESUMO

Este estudo aborda os desafios enfrentados por redes coletoras de esgoto do tipo separador absoluto, que são projetadas para transportar águas residuais sanitárias de forma independente e separada em relação a água pluvial. Problemas como infiltração – entrada de água pluvial e do lençol freático através das tubulações – e afluxo – conexões indevidas de drenagem pluvial à rede coletora de esgoto – comprometem a eficiência do sistema. A combinação desses fatores resulta em extravasamentos em logradouros e caixas de inspeção, sobrecarga nos sistemas de bombeamento e consequente aumento no consumo de energia. No Sistema de Esgoto Sanitário de Joinville, diversas medidas estão sendo adotadas para mitigar esses impactos, como ações estruturais (impermeabilização de poços de visita, reparos pontuais em tubulações) e estratégias de fiscalização e regularização de imóveis. A metodologia foi baseada nas características e nos testes realizados no sistema de esgoto existente, considerando idade, vida útil, condições ambientais à qual a estrutura está exposta e a expectativa em relação ao desempenho durante o uso.

PALAVRAS-CHAVE:
Redes de esgoto, Infiltração Pluvial, Impermeabilização

INTRODUÇÃO

O sistema de esgoto sanitário do tipo separador absoluto é o modelo comumente adotado quando a finalidade é transportar apenas águas residuais sanitárias. Contudo, na prática, o projeto de concepção desse sistema deve incluir uma margem para uma contribuição pluvial indevida que inevitavelmente se torna parte da vazão total (ASCE, 2007).

A taxa de infiltração é a contribuição de chuvas e infiltrações do lençol subterrâneo para as canalizações de esgoto. O valor exato depende de vários fatores, como nível de água do lençol freático, natureza do subsolo, qualidade da execução da rede, tipo de junta utilizada e material da tubulação (ABNT, 1986).

De acordo com a NBR 9649 (ABNT,1986), a taxa de infiltração (TI) por quilômetro de rede de esgoto sanitário pode variar entre 0,05 e 1,0 l/s.km. Em Joinville, o valor de taxa de infiltração adotada no dimensionamento das redes coletoras de esgoto é de 0,05 l/s.km.

O dimensionamento da vazão total das redes coletoras é obtido a partir da Equação 1, o qual considera a vazão de esgoto total (inicial e/ou final) como sendo a soma da vazão de esgoto das residências, a vazão industrial e a vazão de infiltração (Equação 2), obtida a partir da taxa de infiltração e quilômetro de rede.

$$Q_{esg} = Q_{Dom} + Q_{Inf} + Q_{Ind}$$ equação (1)

Ou seja,
Q_esg = Vazão de esgoto inicial (ou final) (l/s)
Q_dom = Vazão de esgoto doméstico inicial (ou final) (l/s)
Q_inf = Vazão de infiltração (l/s)
Q_ind = Vazão industrial inicial (ou final) (l/s)

Sendo que:

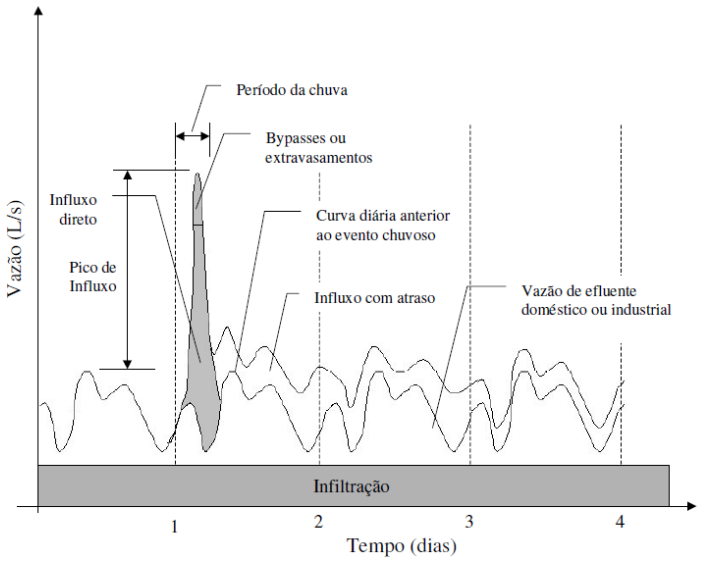
$$Q_{Inf} = TI \; x \; L$$ equação (2)

Q_inf= Vazão de infiltração (l/s)
TI = Taxa de infiltração l/s.km
L= Comprimento de rede (km)

Ainda, além da vazão de infiltração das redes coletoras prevista em projeto, o sistema pode ainda receber contribuição pluvial indevida, conhecido com afluxo (ABNT, 1986). O afluxo é resultante de fontes como tubulações de drenagem conectados indevidamente no ramal domiciliar de esgoto, infiltração pelas tampas dos poços de visita, tubulações ou poços de visitas danificados ou até mesmo conexões com o sistema público de drenagem. O afluxo normalmente é resultado direto de chuvas ou escoamento de irrigação (ASCE, 2007).

A Figura 1 a seguir, apresenta a vazão pelo tempo e as áreas das curvas representam cada tipo de contribuição de água externa ao sistema em uma avaliação das vazões.

Figura 1 - Gráfico de identificação da infiltração e afluxo.



Fonte: METCALF & EDDY, 2003.

A combinação desses fatores (infiltração e afluxo) ocasiona diversos problemas na operação de coleta e transporte do esgoto. Entre os principais problemas estão extravasamentos nos Poços de Visita (PV) e Caixas de Inspeção (CI) e também consumo excessivo de energia elétrica pelos sistemas de bombeamento das elevatórias de esgoto.

Nesse sentido, visando diminuir as infiltrações e afluxos, diversas ações para o combate da infiltração pluvial estão sendo adotadas no SES Joinville. Entre as principais, cita-se medidas estruturais como o revestimento de poços de visita danificados e reparos pontuais de tubulações, e ações de fiscalização e regularizações de imóveis apontados nas inspeções domiciliares.

OBJETIVOS

- Realizar o diagnóstico das instalações existentes do SES Jarivatuba;
- Avaliar a efetividade dos métodos de combate a infiltração pluvial utilizados;
- Estimar a contribuição pluvial parasitária que deixou de ser bombeada para a ETE Jarivatuba;

METODOLOGIA UTILIZADA

DIAGNÓSTICO DAS ESTRUTURAS DO SES JOINVILLE

Conforme a NBR 16747/2020, as vistorias em estruturas considerando a complexidade das instalações existentes devem considerar:

a) Características construtivas;
b) Idade das instalações e da construção e vida útil prevista;
c) Exposição ambiental da estrutura;
d) Agentes (e processos) de degradação (atuantes);
e) Expectativa de desempenho durante o uso.

Dessa forma, os interceptores de concreto selecionados para prioridade no diagnóstico preventivo do SES Joinville consideram os aspectos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Aspectos para diagnóstico nos interceptores da CAJ

Aspecto para diagnóstico	Poços de visita da CAJ
Características construtivas	Interceptores de concreto Profundidade entre 4 e 6 metros;
Idade das instalações e da construção e vida útil prevista	Interceptores construídos a mais de 15 anos Interceptores com histórico de manutenção/troca de tubulação devido a alguma patologia apresentada;
Exposição ambiental da estrutura	Contato da tubulação com esgoto sanitário doméstico;
Agentes (e processos) de degradação (atuantes)	Ambiente agressivo com alta presença cloretos e sulfatos;
Expectativa de desempenho	Adequadas devido a localização em vias de alto fluxo de veículos; Funcionamento sem interrupções do sistema de esgotamento sanitário; Evitar manutenções emergenciais;

Fonte: elaboração própria a partir de dados da NBR 16747 (ABNT, 2020).

No total foram identificados 265 poços de visita com as características apresentadas pela NBR 16747, sendo que dessas, 132 unidades já foram diagnosticadas com algum tipo de patologia.

Essas anomalias são evidenciadas pelas infiltrações através de juntas mal argamassadas, infiltração pelo fundo do PV, juntas entre concreto e PVC mal argamassadas, fissuras e trincas no concreto, corrosão da ferragem e até erosão da estrutura.

O sistema de impermeabilização a ser escolhido para correção dessas patologias deve considerar as condições de trabalho que será submetida a superfície, ou seja, o nível de agressividade do meio para a escolha do tipo de tinta, método de preparação da superfície, sequência da aplicação, espessura necessária e tipo de aplicação (NBR 9575)

Com relação ao método utilizado para a contenção das infiltrações e proteção da armadura do concreto, foi realizada a aplicação de revestimentos com produtos à base de poliuretanos.

As etapas do serviço envolveram:

1. Lavagem por meio de hidrojateamento de alta pressão (mínimo de 3.500 PSI);
2. Injeção de poliuretano expansivo, por meio de bomba pneumática;
3. Regularização de superfície com argamassa cimentícia apropriada;
4. Aplicação de primer de poliuretano por meio de equipamento de mistura automática de componentes de alta pressão;
5. Aplicação de poliuretano elastomérico flexível, por meio de equipamento de mistura automática de componentes de alta pressão, com espessura final de 4 mm;

AÇÕES PARA REDUÇÃO DA INFILTRAÇÃO PLUVIAL

A infiltração através de poços de visita ocorre principalmente devido ao surgimento de patologias resultantes da deterioração do concreto. No interior de uma estrutura de concreto armado, a armadura está protegida pela camada passivadora e pela elevada alcalinidade do concreto.

Entretanto, ao longo de sua vida útil, devido à própria porosidade do concreto ou através do surgimento de fissuras no elemento, ocorre a inserção de agentes agressivos como os íons cloreto, íons sulfato, dióxido de carbono e outros, que acarretam na perda da estabilidade da camada passivadora da armadura.

A patologia de desagregação de concreto costuma ocorrer pela corrosão das armaduras dentro do concreto, a medida que se expandem geram fissuras com aberturas cada vez maiores até o desprendimento da massa de concreto no elemento.

Essas anomalias e falhas constituem não conformidades que impactam na perda precoce de desempenho real ou futuro dos elementos de concreto, e redução de sua vida útil projetada. Essas situações podem comprometer, portanto: segurança; funcionalidade; operacionalidade; durabilidade, vida útil, dentre outros parâmetros de desempenho definidos na NBR 16767/2020 (ABNT, 2020).

Para estimar o volume de redução da infiltração que seria obtido com a realização das ações estruturais de impermeabilização dos poços de visita, foram realizados testes prévios de vazão de infiltração em estruturas diagnósticas em estado crítico de infiltração, em cada região aonde seria aplicado o revestimento.

A primeira etapa consistiu em bloquear todas as entradas e saídas de esgoto do poço de visita e aguardar o momento que a maré atingiria o nível que já começa a infiltrar na estrutura (Figura 2). Dessa forma, a partir das medidas conhecidas do poço de visita, verificou-se o incremento de água de infiltração dentro da estrutura, em determinado tempo de subida da maré.

Figura 2 – Teste de infiltração no poço de visita.



Fonte: Águas de Joinville, 2024.

Para obtenção do volume de infiltração foi utilizada a Equação 3.

$$V = \pi r^2 h$$ equação (3)

Onde,

V= Volume (m^3)
R = raio do poço de visita (m)
h = altura da água da infiltração (m)

A vazão de infiltração foi obtida pela Equação 4.

$$Q = \frac{V}{t}$$ equação (4)

Onde,

Q = vazão de infiltração
V= volume da infiltração (litros)
t = tempo do teste (segundos)

Dessa forma, a partir da vazão de infiltração encontrada para uma estrutura, esta foi extrapolada para a área total dos poços de visita que seriam revestidos.

Por fim, sabendo-se que a vazão de infiltração é influenciada pelo nível da maré, a vazão de infiltração obtida durante determinada faixa de maré, foi realizada a partir da linearização para as demais faixas de nível de maré sendo multiplicado pelo período que a maré ficou naquela faixa, considerando o período pós revestimento das estruturas.

A Figura 3 apresenta o poço de visita após realizado a aplicação da membrana de poliuretano elastomérico.

Figura 3 – Poço de visita após impermeabilização.



Fonte: Águas de Joinville, 2024.

Na ação de reparo pontual de tubulação foi utilizado a metodologia de bloqueio do interceptor e verificação do volume de entrada de água de infiltração por determinado tempo utilizado um recipiente com as dimensões conhecidas (Figura 4).

Figura 4 – Teste de infiltração no interceptor de esgoto.



Fonte: Águas de Joinville, 2024.

Dessa forma, conhecendo-se o volume do recipiente e dividindo pelo tempo que demorou para encher completamente foi possível obter a vazão de infiltração (conforme Equação 3 e Equação 4).

Ou seja, sabendo-se que a vazão de infiltração sofre influência pelo nível da maré, a vazão de infiltração obtida durante determinada faixa de maré, foi também extrapolada para as outras faixas de nível de maré sendo multiplicado pelo tempo no ano que a maré ficou naquela faixa.

O reparo realizado no interceptor de esgoto pode ser verificado na Figura 5.

Figura 5 – Reparo pontual de interceptor.



Fonte: Águas de Joinville, 2024.

Por sua vez, para a redução de infiltração obtida a partir da fiscalização domiciliar considerou-se o número de regularizações por pluvial em cada mês do ano de 2024, o tempo de chuva no ano de 2024 registrado pelo pluviômetro e a vazão estimada de redução por unidade regularizada.

A vazão estimada de redução por unidade foi obtida a partir da redução obtida em uma bacia de esgoto teste aonde foram realizadas as ações de fiscalização domiciliar desde a fiscalização confirmatória com o teste de fumaça (Figura 6) até a regularização do imóvel.

Figura 6 – Teste de fumaça para identificação de conexões irregulares no ramal de esgoto predial.



Fonte: Águas de Joinville, 2024.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Na Bacia Evaldo Braga foi realizado a impermeabilização de nove unidade de poços de visita. A profundidade média dos poços de visita impermeabilizados foi de 2,31 m. A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos na Elevatória Evaldo Braga antes e após o serviço de impermeabilização finalizado em maio de 2024.

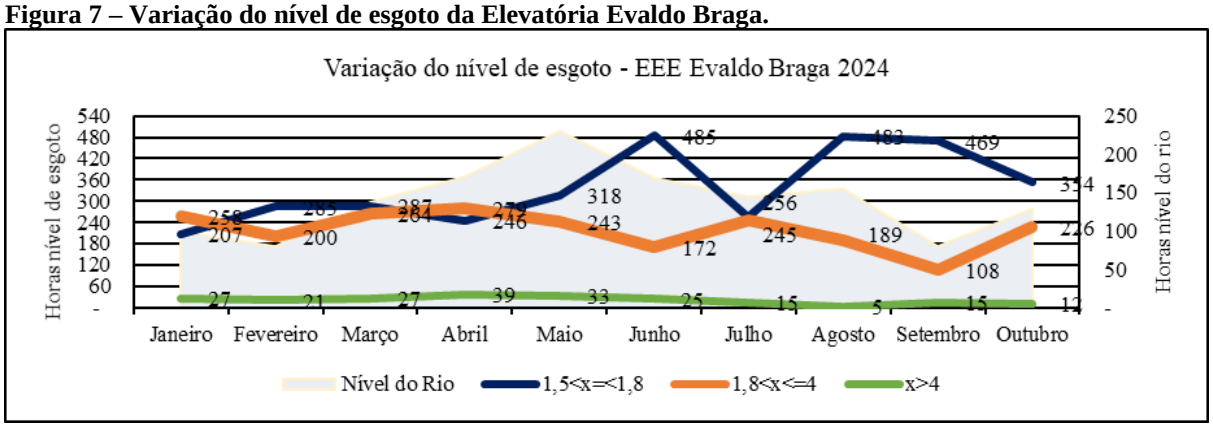
Tabela 2 – Resultados obtidos antes e após impermeabilização de poços de visita.

Ação	Antes da impermeabilização (h)	Após a impermeabilização (h)
	Janeiro a Maio de 2024	Agosto a Outubro de 2024
Nível de esgoto > 4 m	147 horas	72 horas
Nível do rio >1,5 m	719 horas	678 horas

Fonte: elaboração própria a partir dos resultados obtidos de 2024.

A Figura 7 apresenta a variação do nível de esgoto na Elevatória Evaldo Braga de janeiro a outubro de 2024.

Figura 7 – Variação do nível de esgoto da Elevatória Evaldo Braga.



Fonte: elaboração própria a partir dos resultados obtidos de 2024.

Antes da impermeabilização, o tempo que o nível de esgoto permaneceu acima de 4 metros foi de 147 horas (6,1 dias), com 719 horas de maré acima de 1,5 metros. Após a impermeabilização, houve maré por 678 horas, sendo que proporcionalmente extravasaria por 139 horas (5,78 dias), enquanto o obtido foi de 72 horas (3 dias), o que representa uma redução de 51,8% no tempo de extravasamento.

Além disso, antes da impermeabilização o nível de esgoto da elevatória permaneceu 49,1% do tempo entre 1,5 e 1,8 m, 45,5% entre 1,8 e 4,0 m, e 5,4% acima de 4 metros. Após a impermeabilização, o nível de esgoto permaneceu 66,9% entre 1,5 e 1,8 m, 30,7 entre 1,8 e 4,0 m e apenas 2,4% acima de 4 metros.

Na Tabela 3 são apresentados os totais mensais acumulados (TMA) de janeiro a dezembro de 2024 a partir das ações executadas, sendo ação 1 é referente a impermeabilização dos poços de visita, ação 2 referente ao reparo pontual de tubulações e a ação 3 referente a fiscalização domiciliar.

Tabela 3 – Totais mensais acumulados (TMA) de volume de infiltração reduzido.

Ações	Volume de infiltração reduzido (m³/mês)												Total (m³/ano)
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Ação 1					25.067			1201	618			348	27.235
Ação 2					3.684						559		4.243
Ação 3	265	236	198	195	131	147	164	128	107	143	57	25	1.797
TMA	265	501	699	894	29.777	29.924	30.088	31.418	32.143	32.285	32.901	33.275	254.170

Fonte: elaboração própria a partir dos resultados obtidos de 2024.

A impermeabilização dos poços de visita contribuiu para evitar a entrada de 27.235 m³ de infiltração de água de maré, o reparo de tubulação reduziu 4.243 m³, e com a fiscalização domiciliar 982 imóveis foram regularizados, evitando 1.797 m³ de contribuição indevida. No total, as ações conseguiram evitar que 254.170 m³/ano ou 8,04 l/s de água indevida fossem tratadas na ETE Jarivatuba.

CONCLUSÃO/RECOMENDAÇÃO

A impermeabilização dos poços de visita na Bacia Evaldo Braga demonstrou ser uma estratégia eficaz na mitigação dos problemas de infiltração provenientes de poços de visita com problemas estruturais. Com essa medida foi possível maximizar o tempo que o nível de esgoto da elevatória permanece entre 1,5 m e 1,8 m e reduzir em 51,8% o tempo que a elevatória permanece acima de 4 metros.

Com todas as ações implementadas, incluindo também o reparo pontual e a fiscalização domiciliar, foi possível reduzir 254.170 m³ de água indevida no ano de 2024 no sistema de esgotamento sanitário SES Jarivatuba. Esses resultados evidenciaram a importância de investimentos em intervenções eficazes e manutenção ativa da infraestrutura do sistema de esgoto sanitário.

Por fim, essas ações refletem em um compromisso contínuo da Águas de Joinville no combate a infiltração pluvial indevida e reforçam a necessidade de continuidade no diagnóstico, monitoramento e busca por soluções inovadoras para os desafios existentes na operação de sistemas de esgoto sanitário do tipo separador absoluto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648:** Estudo da concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.

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

3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9574:** Execução da impermeabilização. Rio de Janeiro, 2008.

4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575**: Impermeabilização – Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 2010.

5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16747:** Inspeção Predial – Diretrizes, Conceitos, Terminologias e Procedimentos. Rio de Janeiro, 2020.

6. AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS; WATER ENVIRONMENT FEDERATIO. **Gravity sanitary sewer design and construction: manuals and reports on engineering practice**. Nº60. 5.ed. 2007. 437 pg.

7. METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering: treatment and reuse.** 4ª ed. New York: McGraw-Hill International Editions, 2003.