

## **COMBATE ÀS INFILTRAÇÕES PLUVIAIS NA REDE COLETORA DE ESGOTO – BACIA 3.1 A-28 – SES JOINVILLE**

### **Janine Smania Alano<sup>(1)</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Especialista em Gestão Ambiental pela Faculdade Bagozzi. Atua desde 2011 na Companhia Águas de Joinville onde atualmente ocupa o cargo de Gerente de Esgoto.

### **Dalva Schnorrenberger<sup>(2)</sup>**

Técnica em saneamento pelo Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC). Engenheira Civil pela Universidade Sociedade Educacional de Santa Catarina (UNISOCIESC). Atua desde 2011 na Companhia Águas de Joinville onde atualmente ocupa o cargo de Coordenadora de Coleta e Transporte de Esgoto.

### **Nathalia Marcon Toller<sup>(3)</sup>**

Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Paranaense (UNIPAR). Graduada em Engenharia Ambiental pela UTFPR. Atua desde 2019 como Engenheira Ambiental na Companhia Águas de Joinville na Gerência de Esgoto.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Quinze de Novembro, nº 3950 – Glória – Joinville – Santa Catarina – CEP: 89216-2020 – Brasil – Tel: +55 (47) 21051600 – e-mail: [janine.alano@aguasdejoinville.com.br](mailto:janine.alano@aguasdejoinville.com.br).

## **RESUMO**

A entrada de águas pluviais no Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) pode ocasionar a perda de eficiência em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), extravasamentos de esgoto, refluxo de esgoto nas residências, aumento da despesa operacional associada à manutenção das redes coletoras e ao aumento do consumo de energia elétrica. Diante disto, o presente trabalho objetivou avaliar e minimizar a entrada de águas pluviais no SES sub-bacia 3.1 A-28, localizada no município de Joinville – SC. Para tanto foram realizadas ações de medições de vazão e de precipitação, vistorias de rede coletora, filmagem intratubular, fiscalização domiciliar, verificação de caixas de inspeção (CI) durante eventos de chuva e ações de melhorias. O estudo demonstrou que a contribuição de águas pluviais no SES é muito variável e depende do volume precipitado, intensidade e duração da chuva. As precipitações acima de 50 mm/h apresentaram uma redução da vazão de 13,6% e as precipitações de 5 mm/h de 71,3%. A taxa de infiltração obtida foi de 0,08 L.s<sup>-1</sup>.km. Através deste estudo verificamos a dificuldade em combater os afluxos de água da chuva, tendo em vista que o processo de entrada de águas pluviais nos SES é dinâmico e influenciado por diversos fatores, requerendo ações contínuas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Afluxo de águas pluviais, infiltração, fiscalização de esgoto.

## **INTRODUÇÃO**

Conforme TSUTIYA; SOBRINHO, 2011, os sistemas de esgotos urbanos podem ser de três tipos:

- Sistema de esgotamento unitário, ou sistema combinado, em que as águas residuárias (domésticas e industriais), águas de infiltração (águas de subsolo que penetra no sistema através de tubulação e órgãos acessórios) e águas pluviais veiculam por um único sistema.
- Sistema de esgotamento separador parcial, em que uma parcela das águas de chuva, provenientes de telhados e pátios das economias são encaminhadas juntamente com as águas residuárias e águas de infiltração do subsolo para um único sistema de coleta e transporte dos esgotos.
- Sistema separador absoluto, em que as águas residuárias (domésticas e industriais) e as águas de infiltração (água do subsolo que penetra através das tubulações e órgãos acessórios), que constituem o esgoto sanitário, veiculam em um sistema independente, denominado sistema de esgoto sanitário. As águas pluviais são coletadas e transportadas em um sistema de drenagem pluvial totalmente independente.

No Brasil, basicamente utiliza-se o sistema separador absoluto, onde as águas pluviais deveriam ser totalmente canalizadas e transportadas por uma rede de drenagem pluvial.

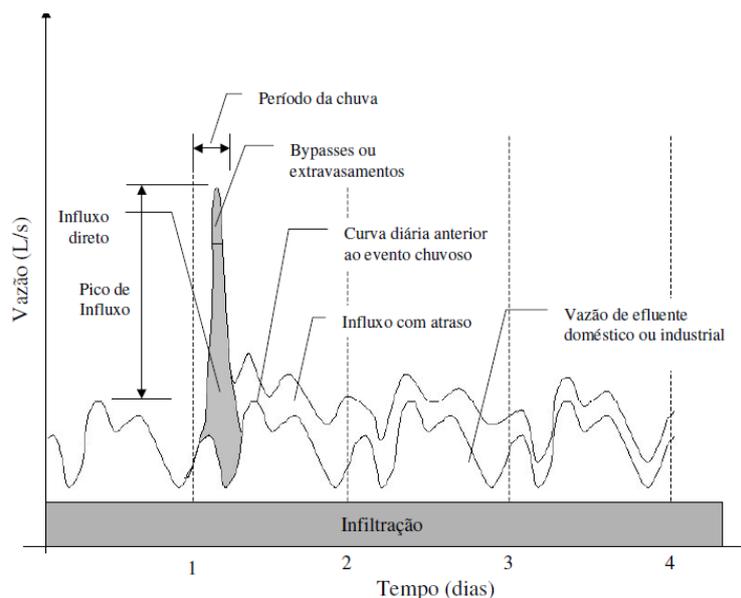
Entretanto, segundo BERTOLINO (2013), um dos problemas operacionais que ocorrem com frequência em sistemas de esgoto do tipo separador absoluto - modelo adotado no Brasil - é a interligação entre o sistema de esgoto com as águas pluviais. Esta interligação pode ocorrer por meio de tubulações rompidas, infiltrações, desconhecimento técnico dos executores, coletores de esgoto em áreas de alagamento, intencionalmente por empreiteiros ou por ligações prediais interligadas de forma irregular.

A infiltração é caracterizada pela entrada de águas pluviais que se encontram no solo para o interior da rede coletora de esgoto. Este fato ocorre devido aos problemas de estanqueidade na estrutura das tubulações, peças e acessórios.

No dimensionamento de um sistema de esgotamento do tipo separador absoluto, já existe a previsão de taxa de infiltração, entretanto estes valores são teóricos e vão variar conforme região e sistema instalado. Grande parcela dos projetos desenvolvidos não consideram no cálculo da vazão de esgoto o afluxo de águas pluviais.

Metcalf e Eddy (2003) separam a água de chuva que entra ao sistema de esgotamento sanitário em dois grupos, a infiltração e o afluxo. A primeira acontece devido a problemas nas tubulações, possibilitando a entrada da água que permeia o solo pelas juntas mal encaixadas, defeitos nas conexões, trincas nas tubulações ou defeitos em outros elementos do sistema como poços de visita. Já o afluxo, é dividido em três grupos: os fluxos constantes, que são provenientes de áreas pantanosas, nascentes e geram uma vazão constante no sistema. Existem os fluxos diretos, que acontecem devido a ligações diretas de água da chuva no SES, seja das residências ou de sistemas de drenagem urbana, esta contribuição possui reflexo imediato no sistema, com acréscimo de vazão no momento da chuva. E, por fim, os afluxos atrasados, que ocorrem após o acontecimento do evento de chuva e são provenientes de bombas do subsolo de edificações ou entrada tardia por meio de poços em áreas de alagamento.

Na Figura 1 são demonstradas através de um gráfico da vazão pelo tempo, as áreas das curvas que 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: Adaptado de METCALF & EDDY (1991)

O cálculo da vazão de esgoto sanitário para um sistema de esgotamento sanitário deve considerar as seguintes contribuições: esgoto doméstico, esgoto industrial e água de infiltração (AZEVEDO NETTO, 1998).

$$Q_{es} = Q_s + Q_{ind} + Q_{inf} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

$Q_{es}$  = Vazão de esgoto sanitário ( $L.s^{-1}$ );

$Q_s$  = Vazão sanitária ou de contribuição de esgoto doméstico ( $L.s^{-1}$ );

$Q_{ind}$  = Vazão industrial ( $L.s^{-1}$ );

$Q_{inf}$  = Vazão de infiltração ( $L.s^{-1}$ ).

A vazão de infiltração refere-se somente às vazões que adentram no sistema de esgotamento sanitário pelas juntas e paredes das canalizações, pelas caixas de passagem e poços de visita (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

$$Q_{inf} = tx_{inf} \cdot ext_{rede} \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

$Q_{inf}$  = Vazão de infiltração ( $L.s^{-1}$ );

$tx_{inf}$  = Taxa de contribuição de infiltração ( $L.s^{-1}.m$ );

$ext_{rede}$  = Comprimento da rede coletora de esgoto (m);

A norma NBR nº 9649 da ABNT orienta que o valor da taxa de contribuição de infiltração ( $tx_{inf}$ ) seja de 0,05 a 1,0  $L.s^{-1}.km^{-1}$  devidamente justificado.

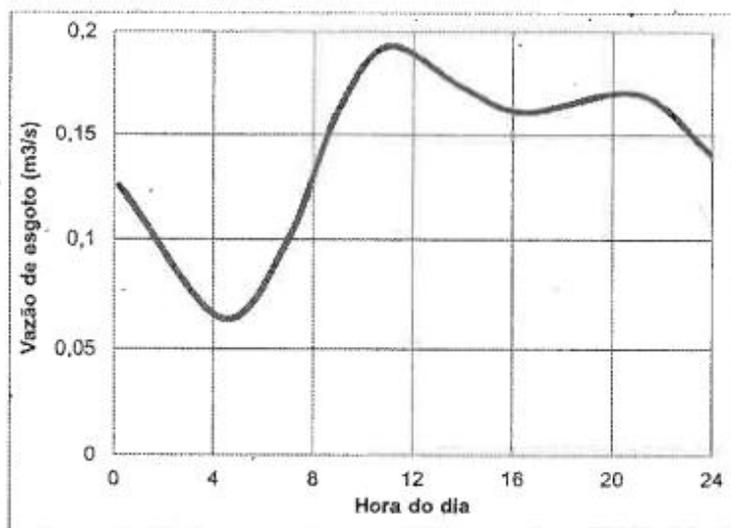
Serenco (2018), no Plano Diretor de Esgoto (PDE) de Joinville, definiu os coeficientes de infiltração a serem utilizados nos projetos, quanto à classificação dos solos do município, classificando-os em três categorias:

1. Baixa Permeabilidade: Solos com textura orgânica;
2. Média Permeabilidade: Solos com textura argilosa;
3. Alta Permeabilidade: Solos com textura média e arenosa.

Assim, foram definidos os coeficientes 0,20, 0,25 e 0,30  $L.s^{-1}.km$  para os solos com baixa, média, e alta permeabilidade respectivamente. Para os interceptores, considerados com diâmetro superior a 400 mm, correspondentes a redes antigas, foi definida uma taxa de infiltração de 1,00  $L.s^{-1}.km$ .

Além das infiltrações e afluxos que interferem no funcionamento do sistema de esgotamento sanitário, o comportamento da vazão ao longo do tempo, das estações do ano, da natureza das descargas externas e conforme características da região devem ser conhecidos e considerados.

Segundo Metcalf e Eddy (2003) a variação da vazão de esgoto observado em uma estação de tratamento de esgoto tem hidrograma diário típico, conforme mostra a Figura 2. De modo geral, a vazão mínima ocorre em período de madrugada, onde o consumo de água é menor, perfazendo-se em uma vazão de esgoto com base principalmente na vazão de infiltração e uma pequena quantidade da vazão de esgoto doméstico.



**Figura 2: Hidrograma típico da vazão de esgoto em uma ETE.**

FONTE: Adaptado de METCALF e EDDY (2003)

Logo, os dois picos de vazão apresentados na Figura 2 acontecem quando o consumo de água é maior ocasionando um maior volume de esgoto doméstico na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

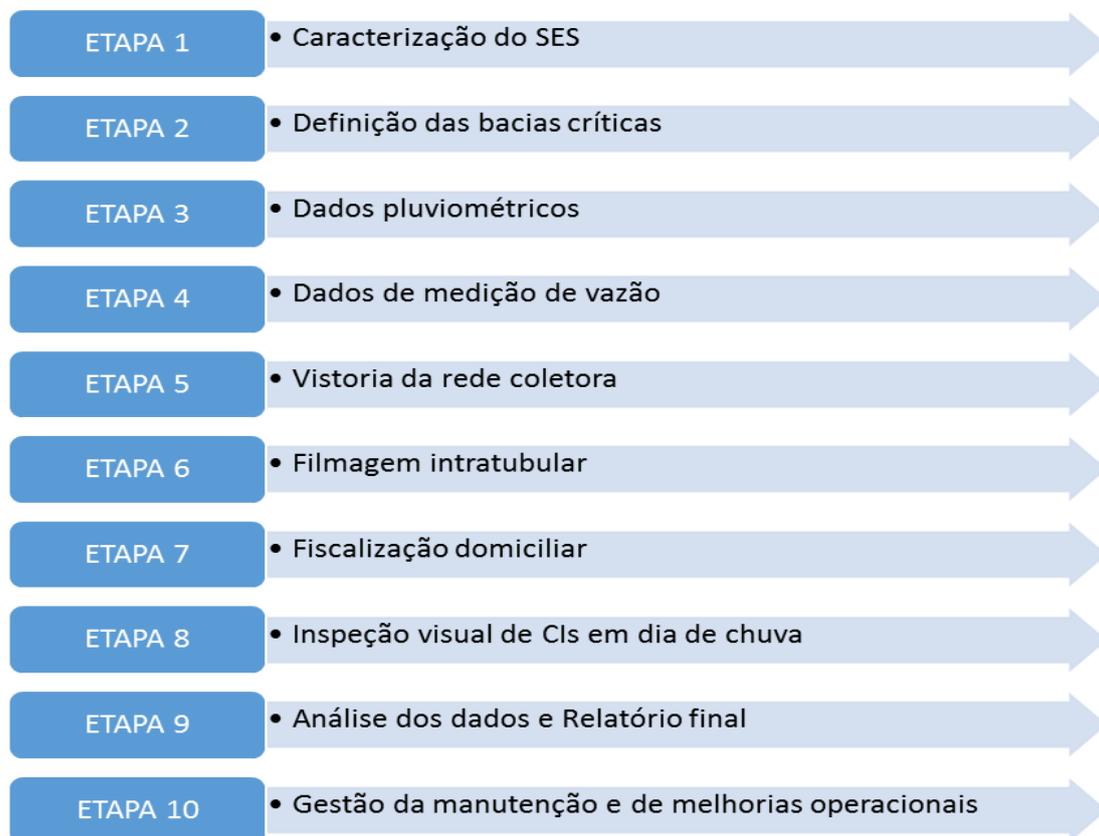
Segundo Metcalf e Eddy (2003) as vazões de esgoto variam durante as horas do dia, os dias de semana, as estações do ano e de ano para ano, dependendo da natureza das descargas no sistema coletor e das fontes de infiltração ou entradas externas.

## OBJETIVOS

O trabalho em questão objetivou aplicar ações de pesquisa de infiltração para combate dos afluxos de águas pluviais na rede de esgoto, realizando medições de vazão e de precipitação e, a partir da análise dos dados, obter percentuais de redução de infiltração, taxa de infiltração e nortear as ações futuras.

## METODOLOGIA

O método consistiu em realizar uma série de ações ordenadas que foram medidas e analisadas conforme sua eficiência, nas seguintes etapas:



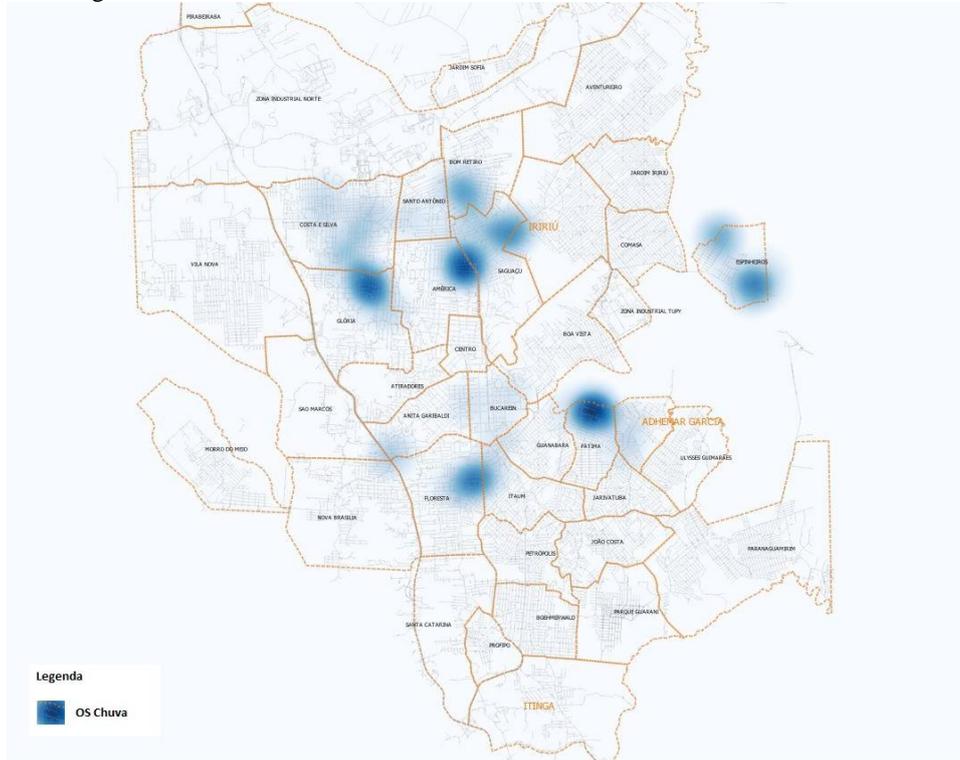
**Figura 3: Etapas da metodologia de investigação de ocorrências de contribuições de origem pluvial na rede coletora de esgoto**

### Caracterização do SES

A caracterização do SES serviu para auxiliar as etapas seguintes de avaliação e análise das informações. Foram imprescindíveis o levantamento de informações como mapas de delimitação de bacias e sub-bacias, especificações de elevatórias que compõem cada sub-bacia, dados de poços de bombeamento, traçados da rede de esgoto e rede de drenagem, estudo populacional da sub-bacia, consumo medido, capacidade hidráulica da rede, entre outros.

### Definição de bacias críticas

Com auxílio do software QGIS, os pontos de extravasamentos (Ordens de Serviço – OS), registrados em rede e ramal, foram lançados na malha da rede de esgoto e sua relevância foi representada através de manchas de calor, conforme Figura 4.



**Figura 4: Definição das áreas críticas por motivo extravasamento**

Para definição das bacias críticas, além das OSs de extravasamentos em rede e ramal foram calculadas as infiltrações nas elevatórias. Em elevatórias onde não há medidores de vazão instalados é possível calcular a vazão estimada através do monitoramento diário de funcionamento das mesmas, a partir do cruzamento dos gráficos de funcionamento da moto bomba. Para calcular a vazão de esgoto em período seco devem ser considerados períodos em que se isola a influência de águas pluviais de possíveis infiltrações na rede de esgoto. Considerando este critério, são escolhidos dias com períodos significativos de tempo seco, pois isso reduz-se a quantidade de água no solo e conseqüentemente a infiltração por afluxo atrasado. O resultado do percentual de infiltração é a diferença entre vazão de enchimento em períodos secos e períodos chuvosos.

$$\%_{inf} = (Q_{encc} - Q_{encs}) / Q_{encs} \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

$\%_{inf}$  = Percentual de infiltração na elevatória em períodos de chuva

$Q_{encs}$  = Vazão de enchimento em períodos secos ( $L.s^{-1}$ );

$Q_{encc}$  = Vazão de enchimento em períodos de chuva ( $L.s^{-1}$ );

A condição topográfica, ocorrência de alagamentos, configuração da elevatória a fim de possibilitar a instalação do medidor de vazão e elevatória de montante, também devem ser avaliados antes da instalação dos instrumentos de medição.

A partir dessas informações, a sub-bacia definida foi a 3.1 A-28, pela reincidência de extravasamento e pelo comportamento hidráulico da elevatória que resultou num incremento de vazão de 816%, num dia de chuva, e também por se tratar de uma área pequena e localizada a montante dentro da Bacia 3.

A Bacia 3.1 A-28, Figura 5, possui 85 ligações de esgoto com 121 economias, uma extensão de 1.063,68 m de rede, área de 54.837,19 m<sup>2</sup> e vazão média 1,02 L.s<sup>-1</sup>.



**Figura 5: Bacia de estudo 3.1 A-28.**

#### Dados pluviométricos

Foi instalada uma estação pluviométrica com raio de abrangência de 2 km da bacia piloto (3.1 A-28). A localização dos pluviômetros, Figura 6, é de grande importância para obtenção de dados mais precisos de forma a possibilitar uma relação segura de vazão e pluviometria. Devido às diferenças de intensidade de precipitação no município de Joinville, optou-se por instalar estações pluviométricas em diferentes localidades atendendo um raio de 2 km, dos locais definidos para estudo.



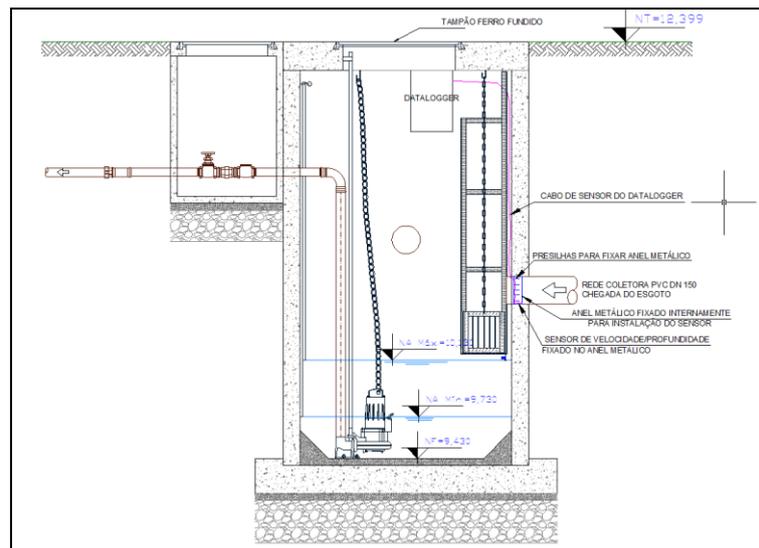
**Figura 6: Localização dos pluviômetros e áreas de abrangência.**

#### Dados de medição de vazão

Para setorizar a bacia e possibilitar a medição das vazões são necessárias a avaliação e a preparação do local de instalação do medidor de vazão. Para isso, foram realizadas visitas de verificação do poço da elevatória para averiguar se ele se encontra afogado ou não, se está em condições de segurança, situação de assoreamento da tubulação e se o fluxo do efluente apresenta algum tipo de turbulência.

Após a verificação das condições do poço foi realizada a preparação das instalações e as configurações com as informações do ponto de controle. Posteriormente realizou-se a instalação do anel de fixação com sensor, e neste momento a calibragem a partir do nível do efluente.

A Figura 7 representa o esquema de instalação do medidor de vazão. O equipamento é composto de um Datalogger (gravador de dados, conversor, memória e baterias), cabo do sensor para o Datalogger, sensor de velocidade/profundidade e anel para fixação do sensor dentro da tubulação.



**Figura 7: Desenho esquemático de um ponto de medição.**

A coleta de dados no medidor de vazão seguiu uma periodicidade de 15 dias, sempre verificando uma avaliação das medições para constatar a consistência dos dados obtidos.

Após a instalação do medidor de vazão é recomendado que se aguarde pelo menos três campanhas de medição em eventos de chuva antes de iniciar as ações de combate às infiltrações.

### **Vistoria da rede coletora**

Nas ações de vistoria da rede coletora foram analisadas inicialmente as conexões da rede onde são avaliadas as condições estruturais e de localização dos poços de visita, TIL de passagem e terminal de limpeza.

Além disso, também foi analisada a condição operacional da rede, avaliando a condição do fluxo do efluente e se o mesmo apresenta infiltrações visíveis na conexão, assoreamentos, sujeiras, obstruções ou a ovalização. Após a finalização da vistoria os problemas identificados foram encaminhados para as devidas correções.

Após qualquer ação concluída são realizadas a análise de dados, a fim de identificar o potencial de redução de cada ação.

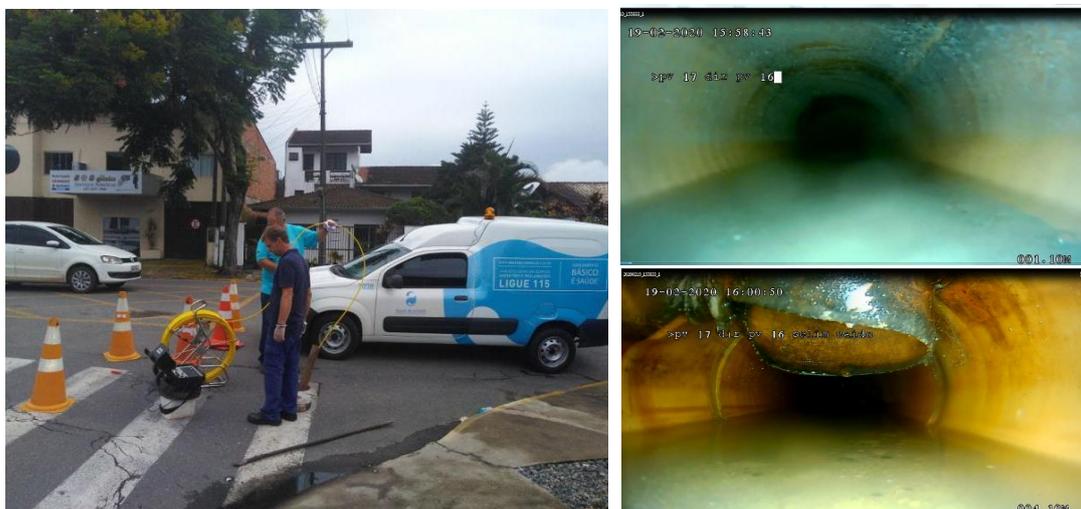
Em seguida iniciou-se a vistoria da tubulação da rede coletora com o teste de fumaça, sendo injetado fumaça na rede coletora por determinado tempo, a fim de identificar possíveis redes rachadas ou interferências de rede de drenagem, conforme Figura 8.



**Figura 8: Teste de fumaça no poço de visita (PV), demonstrando a saída de fumaça na calha do edifício.**

### Filmagem intratubular

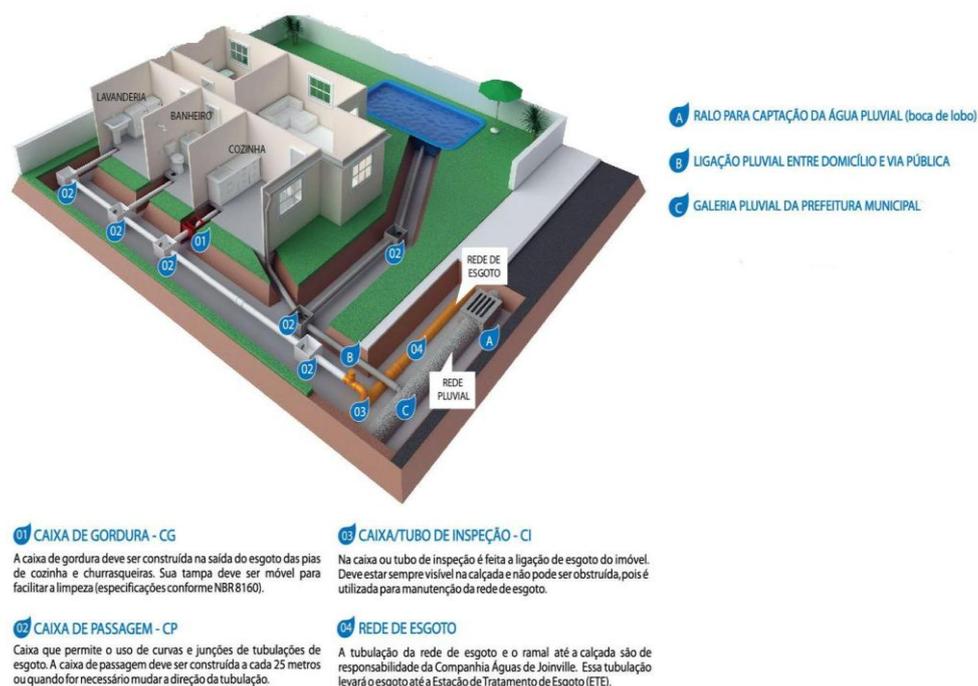
Nos trechos de redes coletoras apontados pela vistoria de rede com possibilidade de irregularidades foram realizadas as vistorias internas da tubulação, através de vídeo inspeção, com o objetivo de encontrar o local e causa do problema. A partir da vistoria intratubular foram geradas as necessidades de manutenções corretivas. A Figura 9 demonstra imagens da filmagem intratubular de redes de esgoto.



**Figura 9: Filmagem intratubular da rede de esgoto.**

### Fiscalização domiciliar

Outra etapa das ações é a fiscalização domiciliar dos ramais internos das residências, neste momento foram verificadas a existência de calhas ou drenagens pluviais ligadas na rede coletora de esgoto através de testes com água mais corante e também com auxílio de máquina de fumaça. Na Figura 10 é apresentado o padrão de uma ligação domiciliar.



**Figura 10: Padrão de instalação da ligação de esgoto.**

Fonte: CAJ, 2019

Para a verificação de águas pluviais na rede de esgoto o procedimento consiste em despejar água com corante em calhas e ralos e teste com máquina de fumaça em caixa de inspeção (CI), caixa de passagens (CP), ou outros pontos que possibilitem a execução do procedimento. Caso haja a visualização da água na CI da ligação, prova-se que a pluvial está conectada à rede.

O teste com máquina de fumaça consiste em insuflar uma fumaça não tóxica na caixa de inspeção para preencher toda a tubulação do ramal interno domiciliar, assim, em caso de ligação da rede de esgoto com a drenagem a fumaça irá evidenciar a irregularidade, conforme Figura 11.



**Figura 11: Teste com injeção de fumaça.**

Caso a ligação do domicílio esteja de acordo com as especificações técnicas é emitido e entregue ao responsável pelo acompanhamento da equipe de fiscalização o Termo de Notificação, onde consta a regularidade da ligação. Para os imóveis com situação irregular no Termo de Notificação consta, além da irregularidade encontrada, o prazo para a regularização da ligação.

**Inspeção visual de CIs em dias de chuva**

Realizadas as ações anteriores e, estando todas as ações de adequações concluídas e todos os imóveis regularizados, ou seja, nenhum imóvel com pluvial conectada na rede de esgoto, deve-se verificar a permanência da interferência de águas pluviais na medição de vazão da bacia. Portanto, identificada a necessidade de continuidade da investigação parte-se para a inspeção visual de CIs em dias de chuva, a fim de identificar aqueles imóveis que permanecem com pluvial conectada.

Esse procedimento consiste na abertura da CI no momento de ocorrência da precipitação e observação do fluxo. Quando é observado um fluxo constante e limpo durante um evento de chuva é possível que haja interligações de águas pluviais na rede de esgoto, conforme Figura 12.



**Figura 12: CI com suspeita de contribuição pluvial.**

Assim, esse método permite selecionar imóveis com suspeita de ligação irregular e posteriormente partir para uma análise mais detalhada até encontrar o ponto de infiltração.

**Análise dos dados**

Inicialmente deve-se estabelecer uma frequência de tratativa dos dados obtidos com as medições de vazão e pluviometria, e realizar a análise destes a cada conclusão de ações. A elaboração do gráfico do comportamento padrão da bacia sem interferências de afluos, é o ponto de partida para o desenvolvimento de relações que possa nos permitir a identificar as interferências no SES.

Para determinar os períodos secos, úmidos e chuvosos utilizou-se a metodologia proposta por Metcalf & Eddy (1991), a partir dos dados obtidos de eventos de chuva, efetuaram uma classificação diária dos dias chuvosos significativo, chuvoso úmido e seco de acordo com o índice pluviométrico, como demonstrado na Figura 13. Foram estipulados como dias chuvosos aqueles em que a precipitação total diária foi superior a 10 mm.

Evento	Simbologia	Descrição
Chuvoso significativo	C	Ocorrência de precipitação total diária superior a 10 mm.
Úmido	U	Dois dias subsequentes às datas de ocorrência de qualquer evento chuvoso significativo.
Chuvoso não-significativo	N	Ocorrência de precipitação total diária inferior a 10 mm.
Seco	S	Todos os períodos que não se enquadram nos três casos anteriores e que apresentaram ocorrência de precipitação inferior a 4 mm.

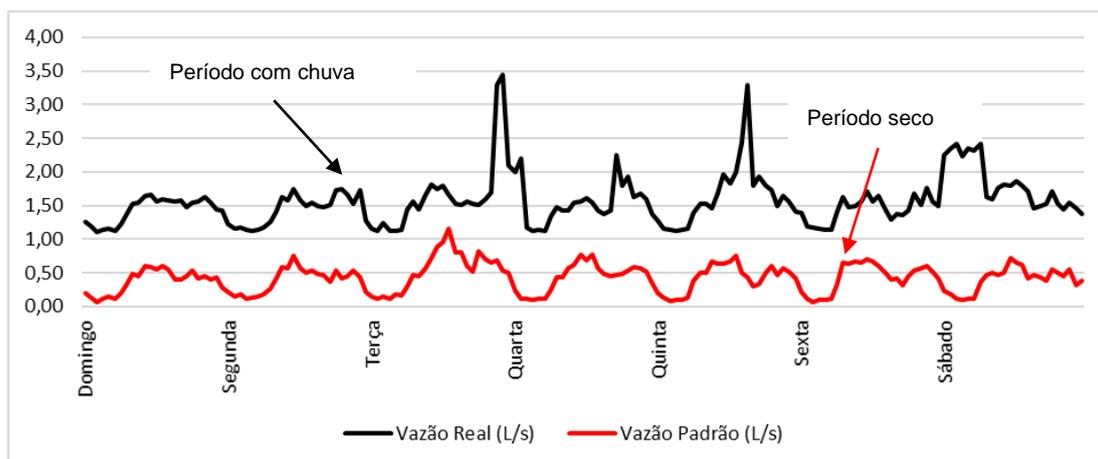
**Figura 13: Classificação dos eventos de chuva.**

FONTE: METCALF e EDDY (1991)

## RESULTADOS OBTIDOS

No projeto piloto o período de medição de vazão foi de uma campanha em evento de chuva, antes de iniciar as ações para combate aos afluxos.

Com os dados da primeira campanha anterior a qualquer ação, foi elaborado o gráfico do comportamento padrão da bacia, Figura 14. Para isso foram utilizados os dados dos dias sem ocorrência de precipitação de domingo a sábado, para estabelecer o período seco, visto que a vazão de esgoto varia de acordo com o horário e com os dias da semana.

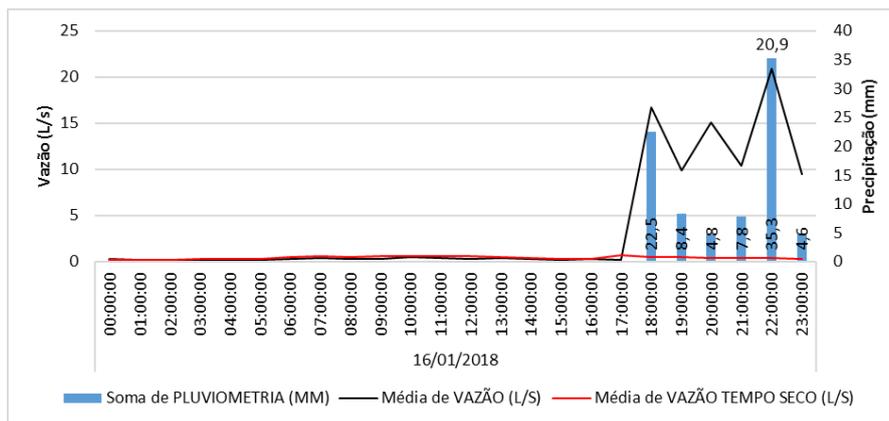


**Figura 14: Curvas de vazão padrão para cada dia da semana.**

Fonte: CAJ, 2020.

Com o gráfico do comportamento padrão da bacia, foi possível relacionar as medições reais de vazão em dias de chuva, e identificar as diversas situações que nos direcionaram à determinadas ações.

Com os eventos de chuva lançados no gráfico (Figura 15), identificamos que o comportamento padrão da vazão (período sem precipitação) sofria influência direta da chuva, caracterizando afluxo direto.



**Figura 15: Relação de perfil diário da vazão de esgoto em período seco x evento de chuva ocorrido no dia.**

O comportamento de aumento de vazão instantaneamente ao pico de chuva, demonstra uma grande possibilidade de afluxo direto por uma ligação clandestina, nos orientando a priorizar a fiscalização domiciliar nas residências.

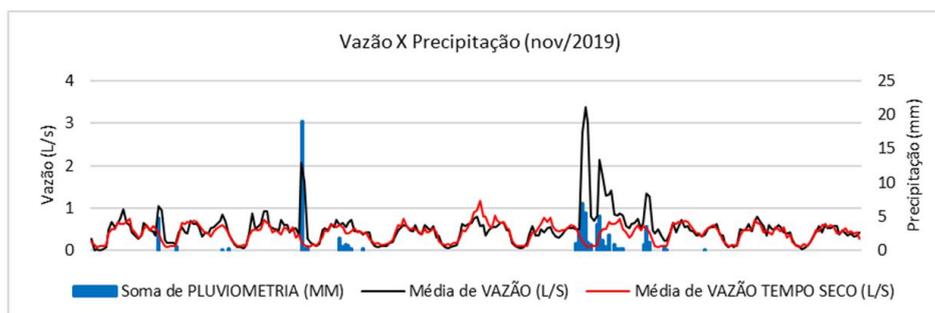
A rede de esgoto da bacia em estudo inicialmente foi vistoriada, resultando em 100% de vistoria visual e intratubular. Das ações de verificação de rede, resultou na necessidade de 6 (seis) substituições de tampas de poços de visita (PV) de PVC para ferro.



**Figura 16: Trocas de tampas.**

Das ações de fiscalização domiciliar na bacia foram detectadas, na primeira vistoria, 31 imóveis com a pluvial ligada diretamente à rede coletora.

Após a regularização completa de todos os imóveis, os dados ainda demonstravam a permanência de afluxos diretos na rede coletora de esgoto, conforme demonstra a Figura 17, e a ação adotada foi a vistoria de CIs em dias de chuva.



**Figura 17: Gráfico da medição de vazão após a finalização das ações na bacia.**

Fonte: CAJ, 2020.

Das vistorias de CIs em dias de chuva, 20 imóveis foram identificados com permanência de irregularidade, necessitando de uma investigação mais detalhada.

As visitas à Bacia em estudo para verificação dos imóveis em dias de chuva já aconteceram em três ocasiões, demonstrando que o trabalho de investigação de pluvial conectada à rede de esgoto por ligações irregulares das residências não pode ser tratado de forma simplificada. Na Figura 18 estão demonstradas imagens de situações de afluxo direto na rede de esgoto, por ligações irregulares, sendo necessária uma investigação bastante detalhada no imóvel.



**Figura 18: Locais de afluxo direto na rede de esgoto.**

Fonte: CAJ, 2020.

A partir dos dados de precipitação, medição de vazão e também com as ações de vistoria de rede e fiscalização domiciliar em fase avançada foi possível realizar a análise dos dados obtidos a fim de se obter as taxas de infiltração e de afluxo (contribuição parasitária pluvial) da bacia em estudo.

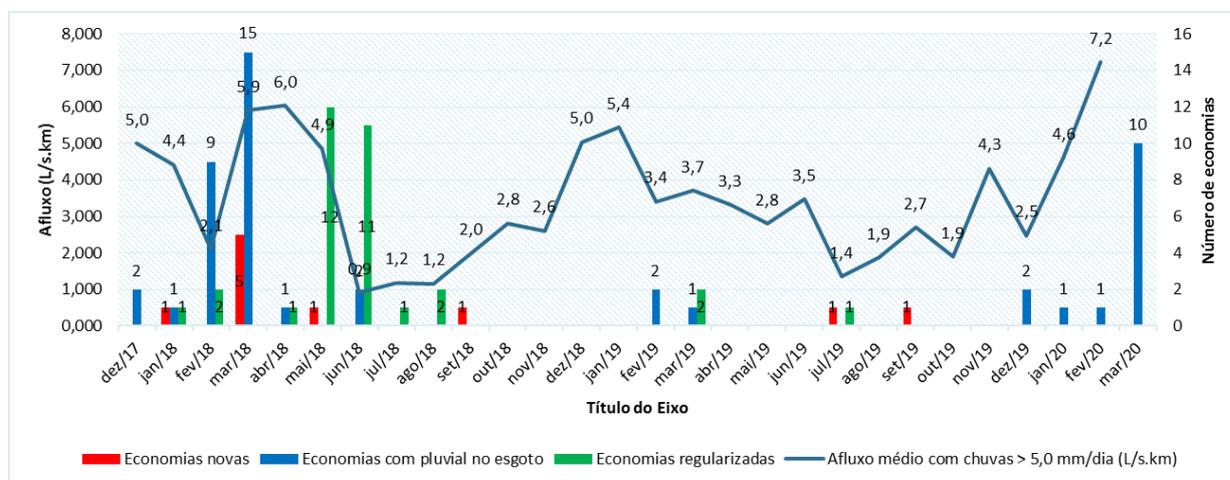
Para estimar a parcela que infiltra pelo solo através de juntas das tubulações, por defeito das tubulações, conexões ou pelo poço de visita foram selecionados os dias úmidos, ou seja, dois dias após o evento de chuva, e comparados aos dias secos. Assim, a taxa de infiltração média na área de estudo foi de  $0,08 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}$  (Tabela 1). Para fins de dimensionamento o valor adotado foi  $0,02 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}$  para a área de estudo. E, a NBR 9649/1986 admite valores entre  $0,05$  a  $1,0 \text{ L.s}^{-1}.\text{km}$ , com devida justificação do valor utilizado.

**Tabela 1: Dados dos dias úmidos**

Fonte: CAJ, 2020.

Data	Precipitação (mm)	Q médio úmido (L.s <sup>-1</sup> )	Vol médio úmido (m <sup>3</sup> /dia)	Q médio seco (L.s <sup>-1</sup> )	Vol médio seco (m <sup>3</sup> /dia)	Vol excedente (m <sup>3</sup> /dia)	Taxa de infiltração (L.s <sup>-1</sup> .km)
23/03/2018	0,00	0,49	42,69	0,41	35,18	7,52	0,08
07/04/2018	0,00	0,45	38,67	0,36	31,10	7,57	0,08
20/04/2018	0,00	0,64	55,04	0,41	35,18	19,86	0,22
11/05/2018	0,00	0,51	44,25	0,41	35,18	9,08	0,10
30/06/2018	0,00	0,40	34,30	0,40	34,27	0,03	0,00
25/03/2019	0,00	0,53	45,62	0,46	39,52	6,10	0,07
27/05/2019	0,00	0,57	48,85	0,46	39,52	9,33	0,10
09/09/2019	0,00	0,49	42,11	0,54	46,94	0,00	0,00
<b>Média</b>		<b>0,51</b>	<b>43,94</b>	<b>0,43</b>	<b>37,11</b>	<b>6,83</b>	<b>0,08</b>

Ao longo do período de monitoramento da Bacia a contribuição pluvial parasitária média obtida através das medições de vazão e dos dados de pluviometria foi de 3,262 L.s<sup>-1</sup>.km, Figura 19. De acordo com a ABNT NBR 12.207 (1992) a contribuição pluvial parasitária não deve superar 6,0 L.s<sup>-1</sup>.km de coletor contribuinte ao trecho em estudo.



**Figura 19: Locais de afluxo direto na rede de esgoto.**

Devido a variabilidade dos eventos chuvosos foram definidas faixas de precipitação horária para comparar as leituras de vazão do início com o final das ações. Os resultados obtidos até o momento, considerando que ainda há imóveis irregulares que foram identificados na última revistoria, estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2: Análise de aumento de volume de contribuição parasitária por faixa de chuva.**

Fonte: CAJ, 2020.

Faixa (mm/h)	Data	Hora	Precipitação horária (mm)	Vazão (L.s <sup>-1</sup> )	Vazão tempo seco (L.s <sup>-1</sup> )	% aumento da vazão	Afluxo horário (L.s <sup>-1</sup> .km)	Vol excedente (m <sup>3</sup> /h)	Vol reduzido (m <sup>3</sup> /h)	% de redução
>50	04/04/2018	20:00:00	63,32	18,38	0,42	4383%	16,89	64,66		
	12/01/2019	23:00:00	52,20	15,88	0,35	4524%	14,60	55,89	8,77	13,6%
Diferença: 2,50								Média: 60,28		
30 - 50	16/01/2018	22:00:00	35,31	20,93	0,36	5818%	19,34	74,05		
	15/03/2019	03:00:00	36,94	13,48	0,14	9763%	12,55	48,04	26,01	35,6%
Diferença: 7,45								Média: 62,50		
25 - 30	24/12/2017	16:00:00	26,20	11,61	0,34	3457%	10,60	40,58		
	11/02/2019	17:00:00	28,46	6,08	0,44	1375%	5,30	20,30	20,28	47,6%
Diferença: 5,53								Média: 45,47		
20 - 25	17/12/2017	22:00:00	24,30	14,35	0,41	3485%	13,11	50,19		
	10/11/2019	04:00:00	23,85	10,98	0,13	8460%	10,20	39,06	11,12	23,5%
Diferença: 3,37								Média: 36,82		
15 - 20	11/01/2018	13:00:00	15,15	8,16	0,59	1381%	7,11	27,24		
	20/02/2019	14:00:00	18,44	4,23	0,53	799%	3,48	13,32	13,91	48,1%
Diferença: 3,93								Média: 20,28		
~10	24/01/2018	16:00:00	10,74	11,69	0,39	2963%	10,62	40,68		
	18/09/2019	18:00:00	10,66	3,63	0,50	733%	2,95	11,28	29,39	69,0%
Diferença: 8,06								Média: 19,81		
~5	22/01/2018	18:00:00	5,02	3,23	0,44	742%	2,62	10,05		
	18/05/2019	00:00:00	5,13	0,93	0,25	369%	0,63	2,43	7,62	71,3%
Diferença: 2,30								Média: 9,46		

A fim de estimar os custos com energia elétrica que as contribuições parasitárias causam foi considerado o consumo médio de energia elétrica em função do tempo em que as bombas ficam ligadas (Tabela 3).

**Tabela 3: Consumo de energia elétrica na EE da Bacia 3.1 A-28**

Faixas de Precipitação	Média de horas das bombas ligadas	Custo diário com energia (R\$)	Aumento de custos
0 mm/dia	01:19:00	2,71	-
10 mm/dia	02:58:00	6,11	125%
20 mm/dia	05:49:00	11,97	342%
Chuva de 40 mm/dia	07:57:00	16,36	504%
Acima 50 mm/dia	10:03:00	20,68	663%

Custo (R\$/kW.h) = 0,70

Custo médio mensal (kW) = 393

Custo médio mensal (R\$) = 281,22

Potência de cada bomba (kW) = 2,94

Logo, supondo que a elevatória não recebesse nenhuma contribuição pluvial e as bombas recalçassem somente o esgoto, as bombas ficariam ligadas em média 39h30 no mês, assim o custo mensal com energia elétrica passaria de R\$ 281,22 para R\$ 81,29 ao mês, o que representa uma redução de cerca de 71% no consumo médio na elevatória. Dessa forma, a despesa com recalque de águas pluviais nesta elevatória está em torno de R\$ 199,93 ao mês, R\$ 2.399,16 em um ano e R\$ 23.991,60 em dez anos.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As visitas à Bacia em estudo para verificação dos imóveis em dias de chuva já aconteceram em três ocasiões, demonstrando que o trabalho de investigação de pluvial conectada à rede de esgoto por ligações irregulares das residências não pode ser tratado de forma simplificada.

A análise das precipitações horárias indica que as chuvas mais intensas são mais difíceis de combater comparado às menos intensas, as quais apresentaram maior porcentagem de redução de volume. Neste estudo, precipitações acima de 50 mm/h apresentaram uma redução da vazão em torno de 13,6% e essa redução chegou a 71,3% com precipitações de 5 mm/h, comparando o período antes e após as ações de combate às contribuições pluviais.

A obtenção de percentuais de redução por precipitação norteará os objetivos futuros, considerando que o custo com as ações de redução da infiltração no sistema, e o seu impacto devem se sobressair em relação aos custos de operação e manutenção do sistema.

Ao longo do período de monitoramento da Bacia a contribuição pluvial parasitária média obtida através das medições de vazão e dos dados de pluviometria foi de 3,262 L.s<sup>-1</sup>.km, sendo que a máxima taxa registrada foi 7,2 L.s<sup>-1</sup>.km no mês de março de 2020 e a mínima 0,907 L.s<sup>-1</sup>.km para o mês de junho de 2018, (Figura 18). Esse resultado comprova a dificuldade em combater os afluxos em eventos de alta pluviometria, uma vez que o SES pode estar recebendo contribuição superficial proveniente de tampas de PVs, CIs e CPs.

## CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

O estudo demonstra que a contribuição de águas pluviais em sistemas de esgotamento sanitário é muito variável e depende do volume precipitado, intensidade e duração da chuva. A taxa de infiltração obtida foi de 0,08 L.s<sup>-1</sup>.km, sua definição é imprescindível, uma vez que pode apontar problemas e ser definidor de soluções.

Neste estudo, precipitações acima de 50 mm/h apresentaram uma redução da vazão em torno de 13,6% e precipitações de 5 mm/h essa redução chegou a 71,3%.

A criação de faixas de precipitação pode ser utilizada não apenas para valoração da redução do afluxo mais principalmente para auxiliar na identificação das possíveis causas e nortear as ações futuras.

A permanência de ligações irregulares, confirmada na vistoria de CIs em dias de chuva, demonstrou que o método utilizado na fiscalização de ligações irregulares deve incluir teste com água e corante em conjunto com a inserção de fumaça. Algumas residências possuem válvula de retenção, sifão na rede interna, que podem mascarar o teste. O resultado apontou para uma oportunidade de adequação no planejamento das ações, buscando alterar a sequência, quando possível, iniciando com as vistorias em CIs em dias de chuvas. Esta alteração poderá garantir uma maior produtividade das equipes.

Como melhoria na avaliação e mensuração da eficácia das ações serão instalados, nas bacias em estudo, analisadores de energia que nos permitirão realizar relações diretas de redução de afluxo com o consumo de energia dispendido para o bombeamento.

Para os trabalhos futuros sugere-se análises de custo-benefício e definição de indicadores operacionais como meta do SES.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9649. Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário – Projeto e execução. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.
2. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12.207. Projeto de interceptores de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.
3. AZEVEDO NETTO, J.M. Manual de Hidráulica. 8ª ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1998.
4. BERTOLINO, M. Avaliação das contribuições de água de chuva provenientes de ligações domiciliares em sistema de esgotamento sanitário separador absoluto. Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, SENAI – PR, Universitat Stuttgart. Curitiba, 2013. 128f.
5. METCALF; EDDY. Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1991. 1334p.
6. METCALF; EDDY. Wastewater engineering: treatment and reuse. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2003.
7. TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. Coleta e transporte de esgoto sanitário. 1 ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.
8. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 6ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.

9. SERENCO – Serviços de Engenharia Consultiva. Plano Diretor de Esgoto – PDE. Sistema de Esgotamento Sanitário de Joinville / SC. 2018.
10. TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. Coleta e transporte de esgoto sanitário. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.