



ESTIMATIVA DO AFLUXO DEVIDO À PRECIPITAÇÃO EM UMA BACIA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Saman Belizario Broering¹; Fabiane Andressa Tasca² & Alexandra Rodrigues Finotti³

RESUMO – A infiltração e o afluxo devido à precipitação (ADP) são reconhecidos há muito tempo como os principais problemas hidráulicos em sistemas de esgoto. Para a validade do sistema separador absoluto, é necessário efetivo controle para se evitar que a água pluvial seja encaminhada junto com as águas residuais. Caso contrário, o sistema separador absoluto funciona como separador parcial ou combinado sem que as estruturas de transporte e tratamento estejam preparadas para tal. Os desafios que envolvem a avaliação da infiltração e afluxo em países em desenvolvimento podem ser estruturais, econômicos; bem como sociais (fiscalização e controle de ligações clandestinas). O objetivo deste trabalho foi estimar o ADP em uma bacia de esgotamento sanitário na ilha de Florianópolis/SC. Para quantificação do afluxo foi utilizada a metodologia onde o afluxo é medido considerando a diferença entre o volume acumulado em um dia chuvoso significativo e o volume acumulado em período seco. Os resultados do trabalho mostraram um incremento de até 182,6% da média de vazão de esgoto bombeada em tempo seco. Também foi feita uma análise qualitativa baseada em testes de corante já realizados na região. Espera-se com esse estudo contribuir para a redução da sobrecarga na rede e melhoria da gestão do saneamento local.

ABSTRACT– Infiltration and inflow due to precipitation (ADP) have long been recognized as the main hydraulic problems in sewage systems. For the validity of the absolute separator system, effective control is necessary to prevent rainwater from being sent along with wastewater. Otherwise, the absolute separator system works as a partial or combined separator without the transport and treatment structures being prepared for this. The challenges involved in assessing infiltration and inflow in developing countries can be structural, economic; as well as social (inspection and control of clandestine connections). The objective of this work was to estimate the ADP in a sanitary sewage basin on the island of Florianópolis/SC. To quantify the inflow, was used the methodology where the inflow is measured considering the difference between the volume accumulated in a significant rainy day and the volume accumulated in the dry period. The results of the work showed an increase of up to 182.6% of the average sewage flow pumped in dry weather. Qualitative analysis was also carried out based on dye tests already carried out in the region. It is expected with this study to contribute to the reduction of network overload and improvement in the management of local sanitation.

Palavras-Chave – Afluxo devido à precipitação, Sistemas de Esgoto, Sistema Separador Absoluto.

1) Mestranda no programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, LAUTEC/UFSC, samanamb@gmail.com

2) Doutoranda no programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, LAUTEC/UFSC, fabitasca@gmail.com

3) Professora Doutora no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, alexandra.finotti@ufsc.br



INTRODUÇÃO

O saneamento ocupa papel fundamental na busca da saúde e bem-estar das comunidades urbanas. Dentre os componentes do saneamento, tem-se os sistemas de esgotamento sanitário, sistema responsável pela coleta, transporte e tratamento desses efluentes. Os sistemas de esgoto dividem-se em sistema unitário ou combinado, sistema separador parcial e sistema separador absoluto; esse último adotado no Brasil para a maioria dos sistemas. Nesse sistema, as águas residuais (domésticas e industriais) e as águas de infiltração são veiculadas em um sistema completamente independente das águas pluviais, que são coletadas e transportadas em um sistema de drenagem pluvial. Isto significa que estes sistemas são concebidos de maneira que não devam sofrer com a interferência das águas pluviais. Contudo, a água de chuva é comum na operação deste tipo de sistema. A interferência da água de chuva se dá por meio de infiltrações no sistema ou por afluxo (direto ou indireto). A infiltração pode ser definida como sendo a água pluvial ou de lençol freático que permeia o solo e entra no sistema de esgotamento sanitário indiretamente pela falta de estanqueidade dos elementos que a compõem (BERTOLINO, 2013). Já o afluxo devido à precipitação (ADP) origina-se principalmente de entradas singulares: tampas mal vedadas de poços de visita, conexões irregulares e ligações clandestinas de canalizações e galeria pluviais, ou ainda ligações abandonadas (DIRCKX et al, 2019; NBR9649/86; ZHAO et al, 2020). A contribuição das águas indevidas é maior nos locais em que a precipitação pluviométrica é intensa e o aquífero subterrâneo elevado. (PEREIRA e SOARES, 2006).

A infiltração e o afluxo são reconhecidos há muito tempo como os principais problemas hidráulicos em sistemas de esgoto, podendo contribuir para a sobrecarga de esgoto e aumento nos custos de bombeamento, chance de extravasamento, diluição do efluente e redução da eficiência das instalações de tratamento (ZHANG et al, 2018; WANG et al, 2019). Para o bom funcionamento do sistema separador absoluto, é necessário efetivo controle para se evitar que a água pluvial seja encaminhada junto com as águas residuais. Caso contrário, o sistema separador absoluto funciona como separador parcial ou combinado sem que as estruturas de transporte e tratamento estejam preparadas para tal.

Contribuições indevidas podem ser estimadas e calculadas por alguns métodos tradicionais baseados em fluxo. Em geral, tais abordagens podem ser divididas entre quantitativas e qualitativas (KARPF e KREBS, 2011). Dentre os métodos qualitativos, um dos mais difundidos é o teste de corante que pode ser descrito como método de rastreamento para detectar o caminho do fluxo do



efluente e determinar as conexões ilícitas existentes nos sistemas de esgoto. Neste método, um corante não-tóxico é adicionado a uma fonte de água, que é suspeita como fonte de infiltração no sistema de esgoto. Ao mesmo tempo, um período de fortes chuvas é simulado inundando o sistema de drenagem de águas pluviais com água bombeada de uma mangueira ou um balde, por exemplo (BEHESTI et al., 2015).

Os desafios que envolvem a avaliação da infiltração e afluxo em países em desenvolvimento podem ser estruturais (condições de construção e de assentamento das tubulações), econômicos (aquisição de equipamentos e materiais de medição); bem como sociais (fiscalização e controle de ligações clandestinas). A aplicação de metodologias para a estimativa do afluxo apresenta-se como uma ferramenta oportuna no enfrentamento destes desafios. O objetivo deste trabalho foi estimar o ADP em uma bacia de esgoto sanitário na ilha de Florianópolis, no Estado de Santa Catarina (SC), caracterizada por apresentar histórico de precipitação intensa e nível de lençol freático elevado. Para quantificação do afluxo foi utilizada a metodologia proposta por Metcalf e Eddy (2016), em que o afluxo é medido considerando a diferença entre o volume acumulado em um dia chuvoso significativo e o volume acumulado em período seco. Também foi feita uma análise qualitativa baseada em testes de corante já realizados na região. Os resultados do trabalho mostraram um incremento de até 182,6% da média de vazão de esgoto bombeada em tempo seco. Espera-se com esse estudo contribuir para a redução da sobrecarga na rede e melhoria da gestão do saneamento local.

METODOLOGIA

Área de estudo

A bacia de contribuição está localizada no bairro Santa Mônica na ilha de Florianópolis/SC e se direciona para a Estação Elevatória de Esgoto (EEE) SB9-A. A Figura 1 apresenta a localização e delimitação da bacia de escoamento escolhida e o ponto de monitoramento que corresponde a elevatória SB9-A.

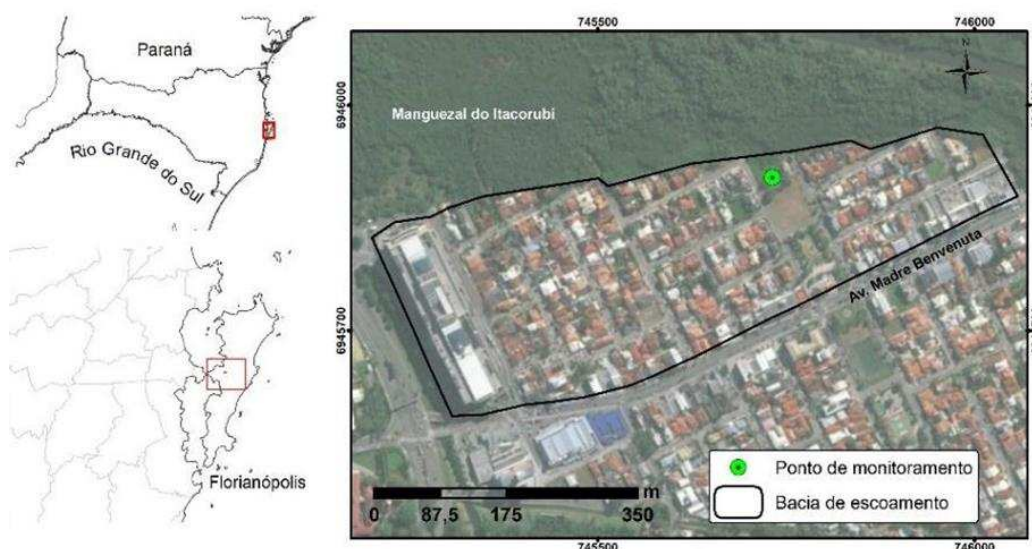


Figura 1 – Área de estudo: Bacia do Santa Mônica.

A bacia possui 0,26km² e está localizada no bairro Santa Mônica situado na área central da parte insular de Florianópolis e faz divisa, ao norte, com o manguezal do Itacorubi. De acordo com o zoneamento, a região tem atividades predominantemente urbanas (comercial e residencial), com destaque para o shopping Vila Romana, maior edificação na área de estudo. De acordo com dados fornecidos pela concessionária que opera a rede de esgoto da bacia, existem 428 economias na área de estudo, além do shopping, que é um grande gerador. A região tem 100% de atendimento de abastecimento de água e coleta de esgoto, com população atendida estimada em 2.041 habitantes.

A EEE é do tipo poço retangular, possui sistema de gradeamento com limpeza manual e duas bombas do tipo centrífuga submersível. O esgoto é bombeado para outras duas elevatórias de onde é recalcado até a estação de tratamento, localizada a 10 km de distância, é tratado e segue para disposição final. Neste estudo fez-se uma análise qualitativa (teste de corante) e quantitativa, referente aos dados de vazão e precipitação, visando estimar o ADP.

Análise qualitativa – Teste de Corante

A região de estudo já foi fiscalizada pela concessionária CASAN (Companhia de Águas e Saneamento) no período compreendido entre 2008 e 2014 por meio do programa de regularização e fiscalização ‘Se liga na rede’. Os dados de fiscalização de ligação de esgoto na bacia foram fornecidos pela CASAN e sistematizados neste estudo a fim de contribuir com a caracterização e origem do afluxo.



Análise quantitativa - Coleta dos dados de vazão e precipitação

Inicialmente, realizou-se uma aferição do sistema de bombeamento com o objetivo de converter os dados históricos existentes em vazão de bombeamento de esgoto para a ETE. O objetivo foi registrar a vazão bombeada por minuto através da medição direta do esgoto bombeado por meio de medidor de vazão ultrassônico, modelo DFM 5.1 da marca *Greyline*. As vazões médias de bombeamento por minuto nos intervalos médios de funcionamento de cada bomba (B1 e B2) e ambas funcionando conjuntamente (B1+B2) foram então assumidas para determinação das vazões nos períodos selecionados para o estudo.

Os dados pluviométricos, durante o ano de 2018, foram coletados diariamente para a caracterização dos períodos de tempo seco e classificação dos eventos chuvosos. O pluviômetro utilizado pertence à Epagri CIRAM (Centro de Informações de Recursos Ambientais e Hidrometeorologia de Santa Catarina), que forneceu os dados horários de precipitação, e está localizado a 1km do ponto de monitoramento (EEE).

Quantificação do ADP

Para a quantificação do ADP foi utilizada a metodologia proposta por Metcalf e Eddy (2016), onde o afluxo é medido considerando a diferença entre o volume acumulado em um dia chuvoso significativo e o volume acumulado em período seco (Equação 1), utilizando os dados de vazão e precipitação minerados.

$$ADP = V_{Chuva} - V_{Seco} \quad (1)$$

Onde:

ADP = Afluxo devido à precipitação (m³)

V_{Chuva} = Volume acumulado em dia chuvoso (m³)

V_{Seco} = Volume acumulado em período seco (m³)

O período seco adotado assumiu a adaptação feita por Lamim e Sezerino (2012) e correspondeu a média aritmética dos três últimos dias que antecederem o evento chuvoso significativo com uma permanência mínima de sete dias anteriores secos (P<4mm). Para o volume do dia chuvoso foi considerada precipitação maior que 10mm. O volume do esgoto foi medido em m³ diário através do monitoramento diário das horas de funcionamento do sistema de bombeamento. Cada evento válido de período seco foi subtraído do volume diário de esgoto do dia chuvoso associado a esse período.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste de corante foi realizado nas 19 ruas que compõem a área de estudo, totalizando 205 imóveis fiscalizados no período 2008 e 2014. (Figura 2).

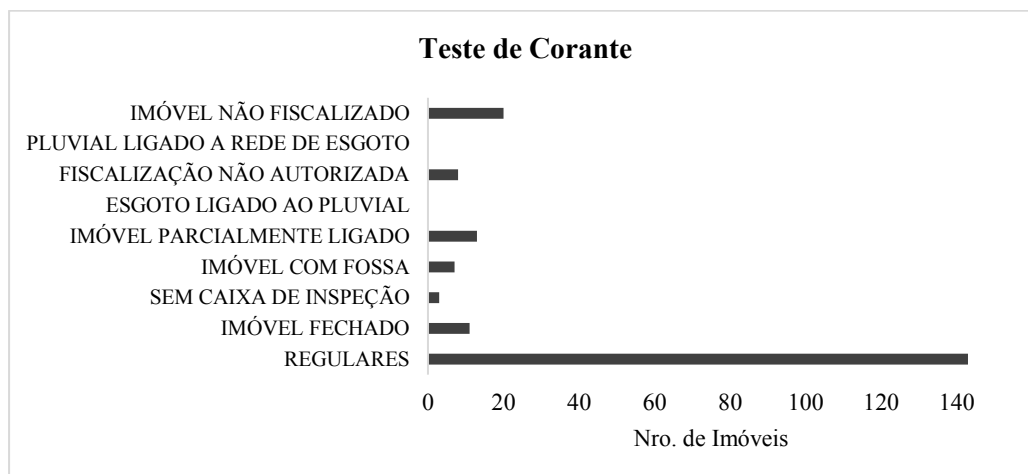


Figura 2 – Teste de corante.

De acordo os dados não foram detectados imóveis com rede pluvial ligada à rede de esgoto, embora tenha se observado outros tipos de irregularidades (e.g. ausência de caixa de inspeção). Somando-se o quantitativo de imóveis não fiscalizados, com fiscalização não autorizada e fechados obtém-se um número considerável de imóveis em que o teste não pode ser realizado. A região, conforme já citado, é predominantemente comercial e urbana e está em constante expansão. É provável que novas ligações tenham sido estabelecidas até o período de coleta de dados para a metodologia do afluxo (2018). Atualmente o projeto Se Liga na Rede está priorizando outros locais ainda não fiscalizados, mas há planos de retornar a região para uma atualização do teste.

Na Figura 3 é apresentado o histograma de precipitações pluviométricas no período do estudo.

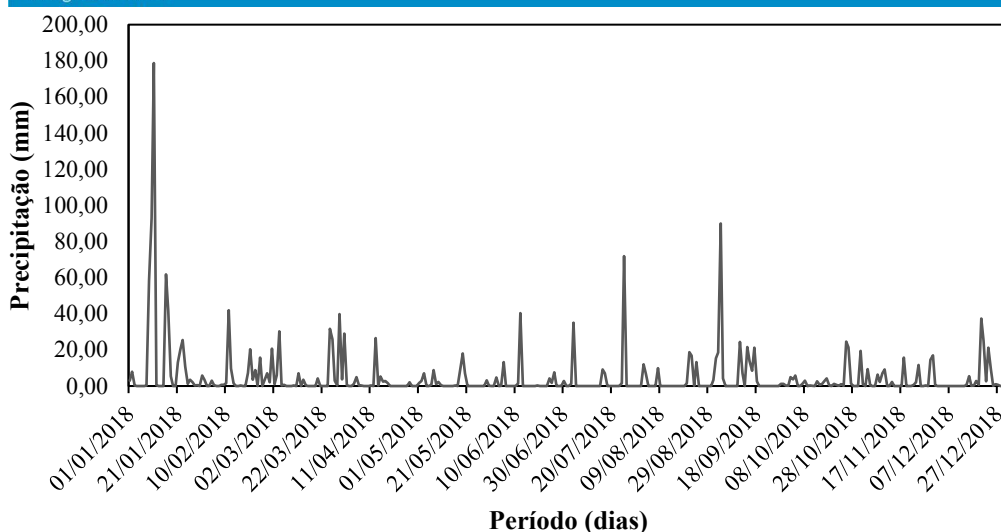


Figura 3 – Precipitação Diária (jan a dez de 2018).

Observa-se que ocorreram vários eventos de precipitação pluviométrica acima de 10mm, fato característico da Ilha de Santa Catarina. Inclusive um evento de chuva intensa em janeiro com valor de precipitação acima de 170mm.

Os eventos classificados válidos para determinação do ADP estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Eventos selecionados para determinação da ADP.

EVENTO A - FEVEREIRO									
Dia do	04	05	06	07	08	09	10	11	
Mês									
Dia da	D	S	T	Q	Q	S	S	D	
Semana									
P diária	3,0	0,5	0,0	0,0	0,8	0,8	1,5	42,0	
(mm)									
EVENTO B - ABRIL									
Dia do	06	07	08	09	10	11	12	13	
Mês									
Dia da	S	S	D	S	T	Q	Q	S	
semana									
P diária	0,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	26,5	
(mm)									
EVENTO C - JULHO									
Dia do	18	19	20	21	22	23	24	25	
Mês									
Dia da	Q	Q	S	S	D	S	T	Q	
Semana									
P diária	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,6	71,8	
(mm)									

Legenda: Pdiária = precipitação pluviométrica diária.



Para cada evento multiplicou-se a vazão média de bombeamento tempo de funcionamento de cada bomba e obteve-se os volumes diários de esgoto bombeado.

Dentre os eventos selecionados o volume diário bombeado variou de 229,1 a 781,1m³. A média do volume de tempo seco em todos os eventos foi de 290,2m³·dia⁻¹. O menor valor ocorreu numa quarta-feira com P = 0,3mm. O maior valor de volume diário bombeado coincidiu com o dia de maior precipitação pluviométrica (P = 71,8mm) e representa mais que o triplo da média do volume de tempo seco, o que indica a considerável contribuição de águas pluviais na elevatória estudada. Este resultado indica que há contribuições (não necessariamente residenciais) não identificadas pelo programa de fiscalização.

Aplicou-se então a Equação 1 para determinação do ADP. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Eventos selecionados para determinação da ADP.

Evento	Volume dia chuvoso (m ³)	Média do Volume Período Seco (m ³)	ADP (m ³)
A	777,145	374,605	402,54
B	446,02	244,969	201,05
C	781,105	251,094	530,01

Observa-se que, no evento A, o ADP representou 138,7% da média do volume de tempo seco. O evento B foi o que teve menor precipitação no evento chuvoso (26,5mm) e consequentemente o menor valor de ADP. Ainda assim, o ADP representou um acréscimo de 82,1% no volume de período seco dentro do evento. Como já se esperava, o maior ADP ocorreu no evento C que teve a maior precipitação no dia chuvoso (71,8mm) e representou 182,6% da média do volume diário em tempo seco. A média do volume do período seco do evento A destoou das médias dos demais eventos, apresentando maior valor. Isso se deu provavelmente porque o carnaval de 2018 ocorreu de 09 a 14 de fevereiro e nesse período a cidade recebe muitas pessoas, sendo comum a vazão aumentar nas regiões onde se concentram restaurantes, como é o caso da bacia estudada. Pode-se inferir que quanto maior a precipitação, maior o volume diário bombeado e maior o ADP. A Tabela 3 ilustra os resultados da pesquisa perante outros estudos já realizados no Brasil.

Tabela 3 – Contribuições de águas pluviais em sistemas de esgoto.

Autor	Local	Ano	Dados originais
Greeley & Hansen	São Paulo	1952	32% sobre QMPS
Hazen & Sawyer	São Paulo	1965	35% sobre QMPS



Pauli	São Paulo	1998	242% sobre QMPS
Mello	Santo André	2002	100 a 283% sobre QMPS
AMPI	Tatui	1992	31% sobre QMPS
Tsutiya e Bueno	Franca	2003	26,76% sobre QMPS
Belizario e Finotti	Florianópolis	2018	138 a 182% sobre QMPS

*QMPS = vazão máxima de período seco.

Fonte: Adaptado Tsutiya e Bueno, 2014.

CONCLUSÕES

Fica evidente o aumento do bombeamento e nível da elevatória em dias de precipitação intensa. Os valores resultantes de ADP no estudo indicam que há considerável contribuição de água da chuva afluindo no sistema de esgoto avaliado, fato que causa diluição e arraste do efluente, gastos desnecessários com energia e manutenção dos equipamentos e eventuais extravasamentos. O ADP influencia diretamente na quantidade e qualidade do efluente, bem como na vida útil e sobrecarga das bombas e acessórios de recalque.

Pode-se concluir que o sistema avaliado não está funcionando como separador absoluto em dias chuvosos. A análise dos dados de imóveis fiscalizados por teste de corante não condiz com os resultados de afluxo na bacia, sendo necessária a retomada da fiscalização. Faz-se necessário, assim, investigar as origens de infiltração e afluxo e avançar na fiscalização para erradicar conexões irregulares. Investimentos em reabilitação e instalações de medidores de vazão nas elevatórias também podem contribuir para o controle e gestão do saneamento.

AGEADDECIMENTOS – À FAPESC pela bolsa concedida, à CASAN pela parceria institucional.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9649: Projeto de Redes Coletoras de Esgoto Sanitário*. Rio de Janeiro: ABNT, 1986.

BEHESHTI, M. et al. *"Infiltration/Inflow Assessment and Detection in Urban Sewer System"*. Vann, 1, p. 24-34, 2015.

BERTOLINO, Murilo. *Avaliação das contribuições de água de chuva provenientes de ligações domiciliares em sistema de esgotamento sanitário separador absoluto*. Dissertação (mestrado) -



Universidade Federal do Paraná, Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial. Curitiba, 2013

DIRCKX, G. et al. “*Dilution of sewage: Is it, after all, really worth the bother?* ”. Journal of Hydrology, v. 571, pag 437-447, 2019.

KARPF, C.; KREBS, P. “*Quantification of groundwater infiltration and surface water inflows in urban sewer networks based on a multiple model approach*”. Water Research 45(10), pp. 3129-3136, 2011

LAMIN, P. C.; SEZERINO, P. H. “*Estimativas das infiltrações e afluxo devido à precipitação em uma rede coletora de esgoto*”. In: XVI Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, Maringá, 2012.

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

PEREIRA, J. A. R.; SOARES, J.M. *Rede coletora de esgoto sanitário: projeto, construção e operação*. – 1ª edição, Belém: NUMA UFPA, 2006.

TSUTIYA, M.T; BUENO, R.C.R. “*Contribuição de Águas Pluviais em Sistemas de Esgoto Sanitário no Brasil*”. Água Latinoamérica, Congresso AIDIS, 2004.

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

ZHANG, M. K. et al. “*Quantifying rainfall-derived inflow and infiltration in sanitary sewer systems based on conductivity monitoring*”. Journal of Hydrology, v. 558, pag. 174-183, 2018.

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