

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/355198828>

II-1785 – Setorização de um Sistema de Esgotamento Sanitário I – Determinação das Cargas Orgânicas

Conference Paper · October 2021

CITATIONS

0

READS

25

2 authors, including:



Carlos Mendes

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

49 PUBLICATIONS 803 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Feasibility studies of hybrid systems with Homer [View project](#)



Tese: A UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO E A GESTÃO URBANA EM PORTO ALEGRE [View project](#)

II-1785 - Setorização de um Sistema de Esgotamento Sanitário I – Determinação das Cargas Orgânicas

Moema Felske Leuck⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas - IPH/UFRGS. Engenheira Civil do Departamento de Água e Esgotos de Porto Alegre – DMAE/POA. Doutoranda em Planejamento Urbano e Regional pelo Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR/UFRGS.

Carlos André Bulhões Mendes⁽²⁾

Eng. Civil, Téc. Mec., Eng. Seg. Trab., M.Sc., M.B.A., Ph.D., P.E.
Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.

Endereço⁽¹⁾: Rua João Alfredo, 187/206 – Porto Alegre - RS - CEP: 90050-230 - Brasil - Tel: (51) 3289-9979 - e-mail: moema@dmae.prefpoa.com.br

RESUMO

O objetivo do trabalho foi desenvolver unidades de agregação para a avaliação integrada do Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) Ponta da Cadeia em Porto Alegre, RS, caracterizado por alto índice de cobertura de rede coletora. O desafio é melhorar o desempenho da coleta e condução dos esgotos sanitários, que se concretiza pela melhoria das características do esgoto afluente à Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Serraria, combinado com a melhoria da qualidade das águas do Arroio Dilúvio. A proposta de uma nova forma de agregação denominada de setor sanitário permite avaliar o desempenho do sistema através do monitoramento integrado das águas urbanas, comparar o desempenho dos setores e relacionar as características locais aos efeitos ambientais. Através da vinculação da população dos setores ao tipo de ligação, obteve-se a carga orgânica lançada nos sistemas separador e de drenagem e no principal arroio da bacia. A fonte da pesquisa foram as informações do banco de dados georreferenciado da prefeitura. Para melhorar o desempenho de cada setor é necessário maximizar a coleta dos esgotos, atingir a carga orgânica compatível com a população atendida e reduzir as interconexões, as ligações clandestinas, a infiltração e os extravasamentos. A adoção de medidas não estruturantes, como a gestão do SES a partir de uma visão integrativa pode promover a eficiência e a eficácia, aprimorar e interconectar os serviços e a infraestrutura das cidades, além de qualificar o processo decisório, o licenciamento e a regulação destes sistemas.

PALAVRAS-CHAVE: setor sanitário, sistema de esgotamento sanitário, enquadramento, carga orgânica.

INTRODUÇÃO

Para melhorar a eficiência da coleta dos esgotos é necessário agregar ao processo de gestão ferramentas de avaliação do desempenho. Segundo Schneider et al, (2017), “a ausência de estudos sobre a abrangência e prestação de serviços de saneamento, constitui uma importante lacuna nas pesquisas no Brasil”. Esta questão tem importante relação com a escala adequada de avaliação quando se trata de Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES) de grande porte e com alto índice de cobertura de rede coletora. O SES é definido pela NBR-9648 como “o conjunto de condutos, instalações e equipamentos destinados a coletar, transportar, condicionar e encaminhar, somente esgoto sanitário, a uma disposição final conveniente, de modo contínuo e higienicamente seguro”, (ABNT, 1986).

O decreto lei 7.217/10 (BRASIL, 2010) define que os parâmetros de qualidade dos efluentes devem melhorar progressivamente até que se atinja a meta do enquadramento dos corpos hídricos, dispostos nas Resoluções CONAMA 357 (BRASIL, 2005) e 430 (BRASIL, 2011), sendo que o titular deve propor mecanismos e procedimentos para avaliação sistemática da eficiência e eficácia das ações programadas. Considerando a melhoria da qualidade das águas urbanas, a Resolução estadual CRH 207/2016 (RIO GRANDE DO SUL, 2016) estabeleceu metas intermediárias para o enquadramento das águas superficiais da bacia hidrográfica do Lago Guaíba, incluindo os 13 arroios divididos em 24 segmentos. Este pode ser considerado o passo inicial para que se olhe para o desempenho dentro do SES, para montante da Estação de Tratamento de esgotos (ETE).

O recorte espacial é o Sistema de Esgotamento Sanitário (SES) Ponta da Cadeia (PC), na cidade de Porto Alegre, RS, em 2018. Este SES, juntamente com os SES Cavalhada, Salso e Zona Sul tem a função de coletar e destinar os esgotos para tratamento na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Serraria, Fig. 1, antes do lançamento no Lago Guaíba, corpo receptor e manancial de água da cidade.

O SES PC coleta os esgotos da bacia do Arroio Dilúvio e parte da bacia Almirante Tamandaré e adota o sistema separador absoluto, segundo a NBR 9648/86. O fato de o SES alcançar índices de atendimento de 92,89% da população conectada à rede coletora em 2018, indica a necessidade de mudar o foco da expansão para a melhoria da eficiência do sistema e propor ações que contribuam para atingir as metas de enquadramento das águas do Arroio Dilúvio, que deve passar da classe 4 para as classes 2 (alto) e 3 (baixo) até 2026.

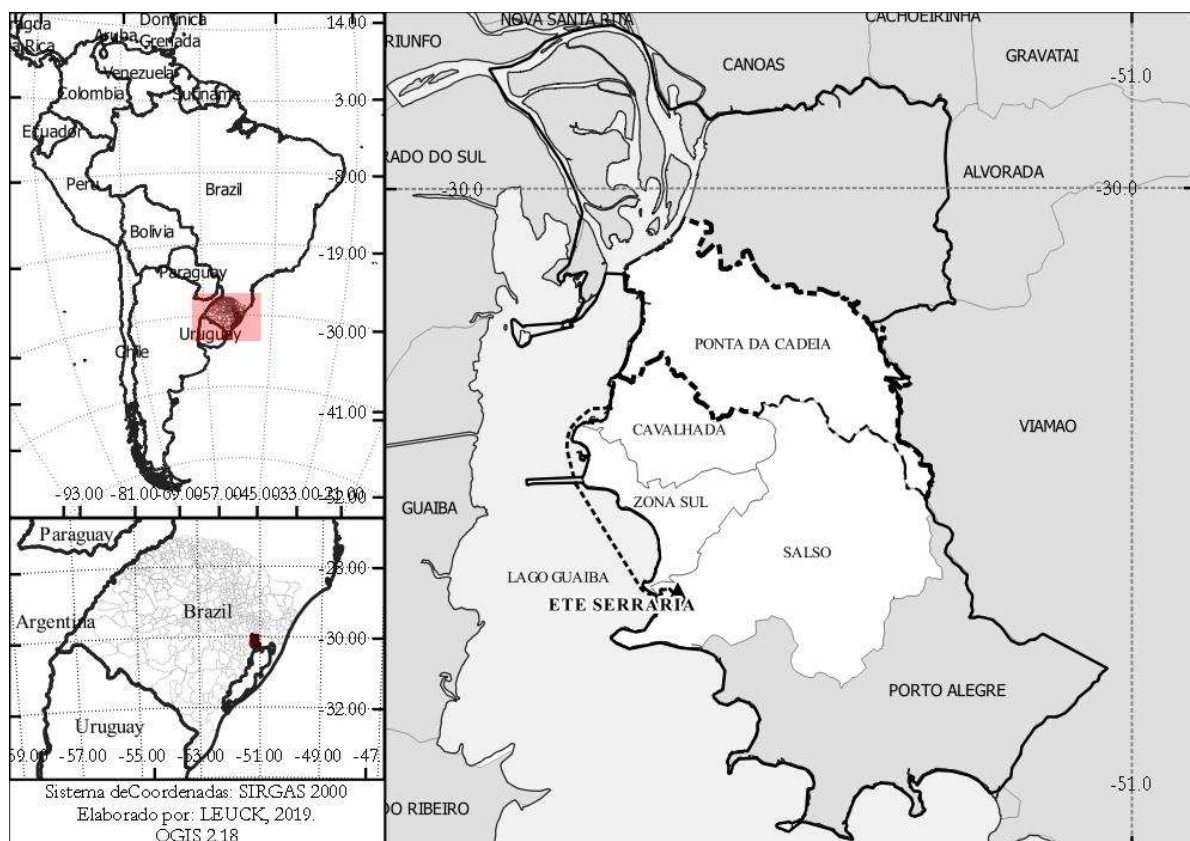


Figura 1: Localização do SES PC e do Sistema Serraria.

A ETE Serraria foi contemplada com recursos da ordem de R\$ 39.178.810,21 no Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas – PRODES cujo objetivo é estimular financeiramente a eficiência dos resultados pelo tratamento dos esgotos (BRASIL, [N. I.]). A aplicação de novas metodologias e modelos de gestão que visem à melhoria da eficiência do tratamento e dos indicadores de coleta dos esgotos é um dos escopos do programa.

O Arroio Dilúvio é o principal arroio da bacia do Arroio Dilúvio, onde se concentra mais de 35% da população da cidade. As péssimas condições da qualidade da água foram ressaltadas por vários autores. Ao analisarem os dados das condições da água de 1995 até 2011, Dalforno e Mattos (2016) concluíram que, à luz do que prevê a Resolução CONAMA 357/05, os parâmetros de qualidade cujos resultados mais a afasta das melhores classes de enquadramento são aqueles relacionados diretamente aos despejos de esgoto doméstico. O desafio de atingir a meta de enquadramento para o Arroio Dilúvio passa pela melhoria do desempenho do SES.

OBJETIVO

Um bom índice de cobertura de redes não é suficiente para garantir um bom desempenho do saneamento. Tsutya e Bueno (2004), concluíram que os sistemas de esgotamento sanitário não funcionam como previsto nas normas brasileiras, que estabelece o sistema separador absoluto e, na realidade, os sistemas operam como sistemas separadores parciais. Ainda, segundo Machado *et al* (2013, p 238), “a alta capilaridade dos sistemas de drenagem urbana das regiões tropicais e subtropicais e a sobreposição entre as redes de drenagem e a rede separadora dificultam a separação destes efluentes. Muitos sistemas planejados para funcionarem como sistema separador acabam por funcionar como sistema misto, devido as ligações clandestinas e a interconexão entre os sistemas de esgotamento sanitário e de drenagem pluvial”. Considerando estas características, conclui-se que para avaliar adequadamente desempenho do sistema de coleta de esgotos é necessário fazer um balanço das cargas poluidoras provenientes dos esgotos lançados nas águas superficiais considerando que, além da carga das áreas sem rede separadora e das interconexões entre as redes separadora e de drenagem, existe a carga proveniente dos lotes não ligados à rede, das ligações inviáveis, dos PVs com descargas no pluvial e dos extravasamentos. Deste modo, um plano de monitoramento das águas urbanas se dá nos três meios de transporte dos esgotos, rede separadora, rede de drenagem pluvial e arroios.

O objetivo da pesquisa foi propor um nível de agregação das sub-bacias de esgotamento sanitário, denominado setor sanitário, planejado para viabilizar o monitoramento do sistema de coleta dos esgotos sanitários, considerando a sua interface com o sistema de drenagem pluvial e com os corpos receptores para obter o balanço das cargas orgânicas lançadas nas águas urbanas.

Em uma escala apropriada, o monitoramento da qualidade das águas urbanas pode ser realizado com uma relação custo/benefício menor. Estes dados, ao alimentarem um modelo digital de qualidade e hidráulico-hidrológico composto pela infraestrutura de drenagem, sistemas de coleta/condução de esgoto sanitário, ETE e corpos hídricos receptores permitiriam a avaliação integrada destes sistemas e o seu controle em tempo real. No monitoramento por sub-bacias a quantidade de pontos de controle fica muito grande, o que inviabiliza o monitoramento e a vinculação destas áreas com o sistema de drenagem. Por isso a adoção de um outro nível de agregação, os setores sanitários.

METODOLOGIA

Primeiramente, foi feita uma verificação geral, utilizando ferramenta GIS, da cobertura da rede separadora do sistema de esgotamento sanitário SES Ponta da Cadeia (PC) e da rede de água em cada sub-bacia. A análise espacial com o uso das ferramentas GIS possibilitou verificar não só a cobertura de saneamento, mas também onde estavam as áreas sem cobertura ou sem interligação ao sistema e suas peculiaridades.

A análise da rede existente iniciou a partir dos coletores tronco derivados do Interceptor do Arroio Dilúvio. Estas derivações foram denominadas *tramos* e serviram para identificar as principais áreas de proveniência dos efluentes. Primeiramente, foi feita a divisão da rede separadora em tramos principais, a partir dos coletores tronco derivados do Interceptor. Em seguida, identificaram-se as subdivisões das redes em cada tramo. Após, foi feita a avaliação geral dos tramos com o objetivo de agrupá-los para formar as *sub-bacias de esgotamento sanitário*.

A partir das sub-bacias de esgotamento sanitário foi vinculada uma área de contribuição a um exutório. No exutório de cada sub-bacia foi selecionado um ponto de convergência dos esgotos, geralmente um Poço de Visita (PV) com facilidade de acesso ou uma Estação de Bombeamento de Esgotos (EBE). Caso se deseje estabelecer metas de desempenho ou de avaliação de ações localizadas nesta escala, estas áreas e pontos serão os elementos básicos para o provimento de informação. A etapa final foi agrupar as sub-bacias em setores que atinjam um tamanho adequado para viabilizar a instalação de equipamentos de medição de vazão e coleta de amostras para o monitoramento dos esgotos.

Para identificar, analisar e sintetizar os dados obtidos do banco de dados georreferenciado e do cadastro técnico e comercial da prefeitura foram utilizados os softwares de geoprocessamento Quantum GIS 2.18 e 3.4 e ARCMAP 10.4.1. Os elementos vetoriais utilizados foram as camadas de ramais de ligação de água, de redes de esgoto sanitário e pluvial, PVs, bacias e sub-bacias de esgotamento sanitário, curvas de nível, hidrografia e

dos setores censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). Cada ramal de água é representado por um ponto localizado sobre a economia com diversos atributos referentes ao consumidor.

Os ramais de água são categorizados por tipo de tarifa: sem rede de esgoto – Tarifa 1, com rede de esgoto sanitário – Tarifa 2 e com rede pluvial - Tarifa 3. Os lotes considerados conectados ao SES são os caracterizados pela tarifa 2, ao sistema de drenagem pluvial pela Tarifa 3 e, se não existir rede pluvial nem separadora no logradouro, pela Tarifa 1.

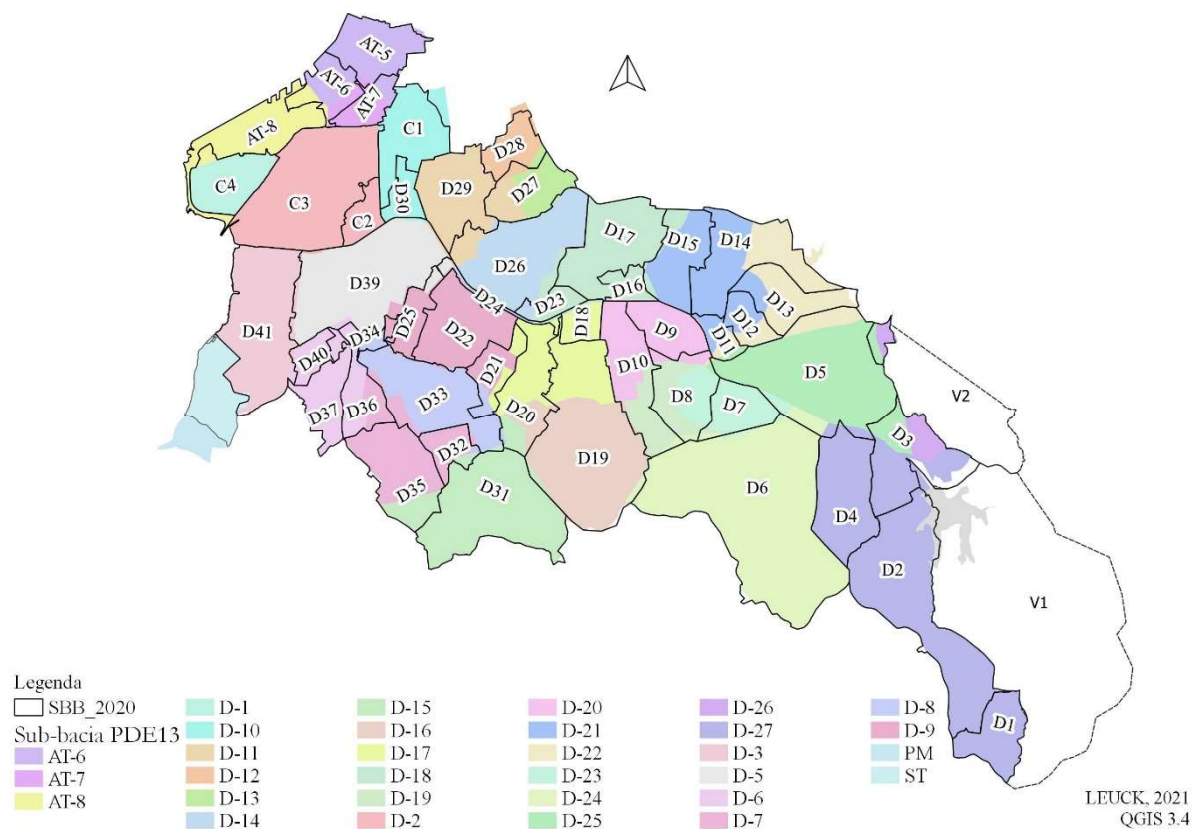


Figura 2: Configuração proposta das sub-bacias de esgotamento sanitário do SES PC sobre a divisão adotada pelo PDE 2013.

É importante salientar que no ramal com tarifa 2 incide em cobrança de tarifa de esgoto sanitário, contudo, não quer dizer que os esgotos sanitários deste lote estejam conectados na rede e sim, que existe rede separadora na frente ou nos fundos do imóvel e que foi instalada a Caixa Adicional de Coleta (CAC). O critério utilizado pelo setor comercial foi considerar como Tarifa 2 os ramais distantes até 20 m dos eixos viários com rede de esgoto.

Para analisar a situação das ligações de esgoto foi preciso alterar a classificação tarifária dos ramais situados nas áreas onde não existia a possibilidade de coleta ou de integração ao sistema. Assim, foram criadas feições delimitando as áreas sem conexão ao sistema integrado. Isto foi feito através da análise conjunta das redes de água, dos esgotos sanitário e pluvial, dos ramais, dos PVs e das curvas de nível.

A Figura 2 ilustra a divisão das sub-bacias adotada pelo PDE 2013 por cores e o modelo novo, proposto para viabilizar o monitoramento por setores, pelas linhas pretas. A nova configuração resultou em 47 sub-bacias na área do SES e 2 sub-bacias na cidade de Viamão, V1 e V2. Nas cabeceiras do arroio Dilúvio estão as sub-bacias V1 e V2. As águas das sub-bacias V1, D1 e D2 direcionam-se para a barragem Lomba do Sabão, um reservatório para captação de água construído em 1940 com 75 hectares de lâmina d'água. A barragem está situada em uma Unidade de Conservação da Natureza do grupo de Proteção Integral com 1.148 hectares denominada Parque Natural Municipal Saint'Hilaire, criada em 2003. A sub-bacia V2 lança os esgotos parte na barragem Mãe D'Água e parte no arroio Dilúvio e a sub-bacia D3 recebe os esgotos destas quatro sub-bacias.

Para obter a população pelas categorias estabelecidas na pesquisa foram usados os dados da Malha Setorial Censitária¹ do censo 2010, (IBGE, 2010), calculada segundo metodologia proposta pelo SNIS, número de economias residenciais ativas multiplicadas pela densidade de habitantes por economia do setor censitário do IBGE 2018. Os dados estatísticos² dos setores censitários do IBGE contêm informações sobre a população de cada setor, o número de habitantes (V001), de economias residenciais ativas (V002) e a densidade de habitantes por unidade residencial (V003).

A estimativa da população da cidade é baseada no método de Tendência de crescimento ou AiBi, “em que a população da área menor pode ser estimada por uma função linear da população da área maior” segundo (CORRÊA, MYRRHA e FIGOLI, 2011, p. 2). Cada cidade tem a estimativa da população total divulgada anualmente pelo IBGE. Para ajustar a população a partir dos valores de densidade de habitantes por economia de cada setor censitário foi necessário comparar o valor da população total da cidade com o valor oficial do IBGE e ajustar a diferença entre os dois através da correção do valor V003, para que a soma da população seja igual ao valor oficial.

Os ramais de água contêm os dados de cada lote, como o número de economias e o tipo de economia. Os dados de código dos setores censitários foram vinculados aos arquivos georreferenciados dos ramais de água através da ferramenta de geoprocessamento “Intersecção” do QGIS. O valor V003 foi vinculado ao setor na forma de tabela .csv pela ferramenta JOIN, neste caso utilizando o código do setor censitário como chave. Após, foi feito o recorte dos ramais de cada categoria, pelas sub-bacias de esgotamento.

A planilha Excel gerada possui o valor da densidade V003 e o valor V003 ajustado vinculado a cada ramal. Assim obteve-se o somatório da população através dos pontos das ligações, conforme o recorte adotado. A população contribuinte da área foi obtida multiplicando-se a densidade ajustada (V003) pelo número de economias residenciais ativas e o consumo mensal foi obtido pela micromedição dos ramais de água. A população das bacias V1 e V2 foi obtida pela soma da população dos setores censitários de 2010. Para atualizar a população para 2018 foi aplicado o aumento percentual da população total de Viamão em relação ao ano de 2010. Os dados de ligações e consumos referentes à Viamão administrados pela concessionária estadual não foram considerados na pesquisa, mas como a área próxima à divisa dos municípios é abastecida pelo DMAE, os dados destes ramais foram incluídos na pesquisa.

A carga orgânica gerada por setor por tipo de tarifa foi obtida pela população do setor multiplicada pela contribuição de DBO de 0,054 kgDBO/hab.dia (NBR12209/2011). Como a carga poluidora de V1 e V2 é lançada no arroio Dilúvio, elas devem ser consideradas no monitoramento, já que para avaliar a eficiência do SES esta contribuição precisa ser abatida do balanço das cargas.

Para obter os pontos de monitoramento das águas superficiais foi necessário segregar os canais livres e arroios dos canais fechados, obter a localização das estações elevatórias ou Casas de Bombas (CB), lançar a localização dos pontos de modo a compatibilizar a área de contribuição com a área dos setores sanitários e, então, estimar a área de contribuição de cada ponto pela topografia e pelas informações do cadastro da rede de drenagem.

RESULTADOS OBTIDOS

Os Meso Setores Sanitários

O agrupamento das 47 sub-bacias do SES resultou em oito áreas denominadas *Meso Setores Sanitários*. O Meso Setor é uma unidade de análise e monitoramento do SES com escala intermediária entre a sub-bacia e o SES que permite viabilizar a avaliação do desempenho, o monitoramento e a modelagem e que pode ser agrupado em setores maiores, a depender do objetivo e do nível de gestão pretendido.

¹ No site <https://www.ibge.gov.br/#> na aba: Geociências, Downloads, Organização do Território, Malhas Territoriais, malhas_de_setores_censitarios_divisoes_intramunicipais, censo_2010.

² No site: <https://www.ibge.gov.br/#> na aba: Estatísticas, Downloads, Censos, Censo_Demográfico_2010, Resultados do Universo, Agregados_por_Setores_Censitários.

O mapa da Figura 3 mostra os coletores tronco, os Meso Setores numerados de 1 a 8, a rede coletora e os pontos de convergência dos esgotos coletados, que estão representados pelos pontos de monitoramento da rede separadora, M1 a M9. Os pontos M7 e M9 são EBEs e os demais são PVs.

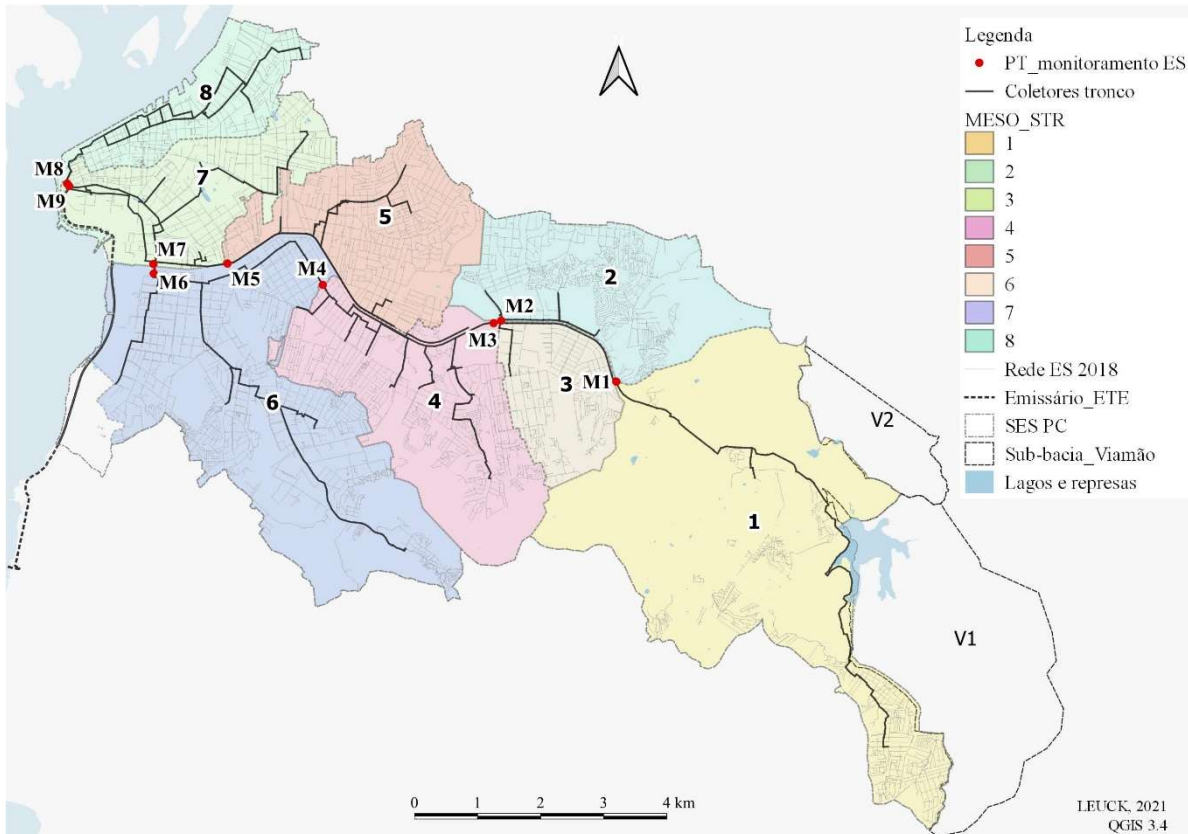


Figura 3: Pontos de monitoramento dos esgotos sanitário no SES PC.

A população total do SES em 2018 era de 536.632 habitantes. O setor com maior população do SES é o M6, seguido pelo M5. A Tabela 1 mostra a estimativa da população por setor para o ano de 2018 e o tipo de serviço de saneamento desta população. Toda a população deste SES é atendida com serviço de abastecimento de água.

Apenas 7,11% da população do SES não possui coleta dos esgotos, o que corresponde a 38.146 habitantes, mais da metade localizada nos setores 1, 6 e 4, que possuem maior incidência de ocupações irregulares. O setor 1 tem maior percentual da população do SES sem o serviço de coleta, 2,31%, seguido pelo setor 6 com 1,76%, Tabela 1. Os setores 6 e 5 tem as maiores parcelas da população com coleta e com tratamento dos esgotos. A população com coleta e tratamento deriva da população com coleta. Nos setores 5, 7 e 8 praticamente toda a população é atendida com serviço de coleta dos esgotos, estes setores estão na área central da cidade com ocupação consolidada e maior densificação.

Apesar do setor 6 ter a maior população absoluta, a maior extensão de rede coletora, Tabela 2, e o maior percentual de coleta, Tabela 1, o setor 7 é o que gera o maior volume de esgotos coletados e tratados, provavelmente por concentrar o setor de serviços e de comércio, seguido pelo setor 6, Tabela 2.

Tabela 1: População e tipo de coleta dos esgotos pelos Meso Setores Sanitários do SES PC em 2018.

SETOR MESO	Pop. SPC 2018 (hab.)				Pop. SPC 2018 (%)			
	Com abast. de água AG01	Sem coleta	Com coleta IN024	Com coleta e tratam. IN016	Com abast. de água AG01	Sem coleta	Com coleta IN024	Com coleta e tratam. IN016
M1	42.752	12409	30343	10714	6,62	2,31	5,65	2,00
M2	53.390	5285	48105	39280	10,03	0,98	8,96	7,32
M3	29.286	2433	26853	24511	5,49	0,45	5	4,57
M4	59.198	8569	50629	43722	11,28	1,6	9,43	8,15
M5	95.736	17	95719	94472	17,73	0	17,84	17,60
M6	122.743	9425	113318	98087	22,73	1,76	21,12	18,28
M7	92.139	6	92133	91372	17,24	0	17,17	17,03
M8	41.388	2	41386	41331	7,56	0	7,71	7,70
Total	536.632	38146	498486	443489	100	7,11	92,89	82,64

O setor 1 possui a maior extensão em área e a maior parcela de área verde do SES, Tabela 2. O setor 6 tem a segunda maior área e a maior extensão de rede.

Tabela 2: Área, extensão da rede de esgotos e volume dos esgotos coletados e tratados nos Meso Setores Sanitários em 2018.

Meso Setor Sanitário SES PC	Área do Setor Sanitário	Área do Setor Sanitário	Extensão da Rede de Esgotos - ES004	Extensão da Rede Coletora Integrada de Esgotos	Volume de Esgotos Coletado - ES005	Volume de Esgoto Tratado - Es006
	hectare	%	km	km	1.000m3/ano	1.000m3/ano
1	2052,44	27,42	91,8	37,67	1433,02	471,9
2	764,25	10,21	92,2	80,13	2264,75	1887,09
3	379,18	5,07	48,6	41,38	1274,95	1173,38
4	972,99	13,00	114,45	96,37	3191,92	2894,27
5	690,8	9,23	106,98	101,79	5874,86	5790,78
6	1612,97	21,55	172,65	158,24	6568,25	5707,78
7	611,69	8,17	79,74	70,91	6817,37	6733,89
8	400,27	5,35	67,68	59,58	4064,87	4058,22
Total	7484,59	100,00	774,1	646,07	31489,99	28717,31

O fluxograma da Figura 4, ilustra o fluxo dos esgotos coletados pelas sub-bacias através dos setores sanitários. Para obter o Balanço das Cargas Orgânicas, conforme haja o acúmulo dos setores no ponto monitorado, os dados devem ser agregados ou desagregados como indicado no fluxograma.

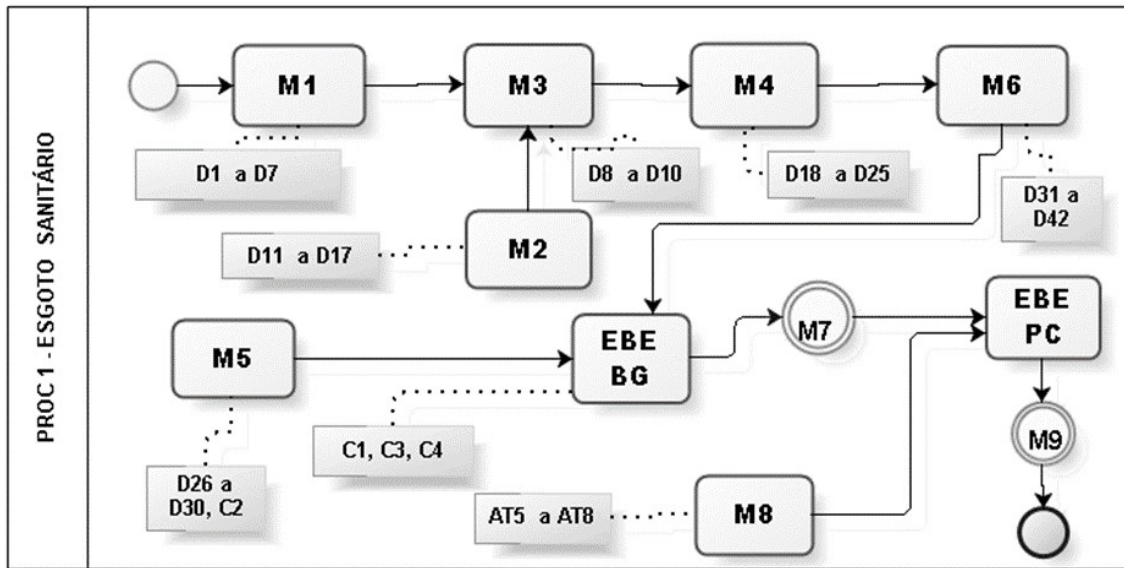


Figura 4. Fluxograma do trajeto dos esgotos sanitários nos Meso Setores através dos pontos M1 a M9 no SES PC.

Conforme mostra a Figura 4, os esgotos dos setores 1 e 2 se juntam aos do setor 3, depois seguem para os setores 4 e 6 até chegarem na EBE Baronesa do Gravataí, que também recebe os esgotos do setor 5. Daí seguem para a EBE Ponta da Cadeia, que recebe os esgotos do setor 8 e os bombeia para a ETE Serraria. Todo o esgoto coletado no SES passa pelo ponto M9.

Os Setores de Monitoramento das Águas Superficiais

Para monitorar as cargas poluidoras presentes nos arroios e águas de drenagem pluvial foram inseridos 8 pontos de controle – H1 a H8, mostrados no mapa da Figura 5. Os canais livres e os canalizados, mas abertos, estão representados pelas linhas em azul e os canais fechados pelas linhas na cor verde.

Os pontos de monitoramento H1 a H5 estão relacionados diretamente ao arroio Dilúvio. Neste caso é importante obter as cargas oriundas do município vizinho, pontos H1 e H2, já que elas devem ser abatidas para a avaliação do desempenho do SES. Até a entrada em operação de uma EBE, a carga da sub-bacia D1 deve ser considerada como lançada na barragem Lomba do Sabão, ponto H1. O ponto H2 recebe os esgotos da sub-bacia V2. Nas demais sub-bacias existem algumas áreas onde a rede coletora não está conectada aos coletores tronco e que necessitam de análise mais criteriosa.

Os pontos H6, H7 e H8 não influenciam a qualidade da água do arroio Dilúvio, visto que as águas de drenagem pluvial do setor 8, no ponto H7 e as águas dos pontos H6 e H8, são bombeadas diretamente para o Lago Guaíba. Os esgotos gerados no setor 7 podem ser monitorados nos pontos M7 e H6. O ponto H6 tem seu exutório ao lado da foz do arroio, é um ponto importante para avaliar a carga orgânica, pois os esgotos gerados nas sub-bacias C1, C3 e C4 podem ser monitorados nos pontos M7 e H6.

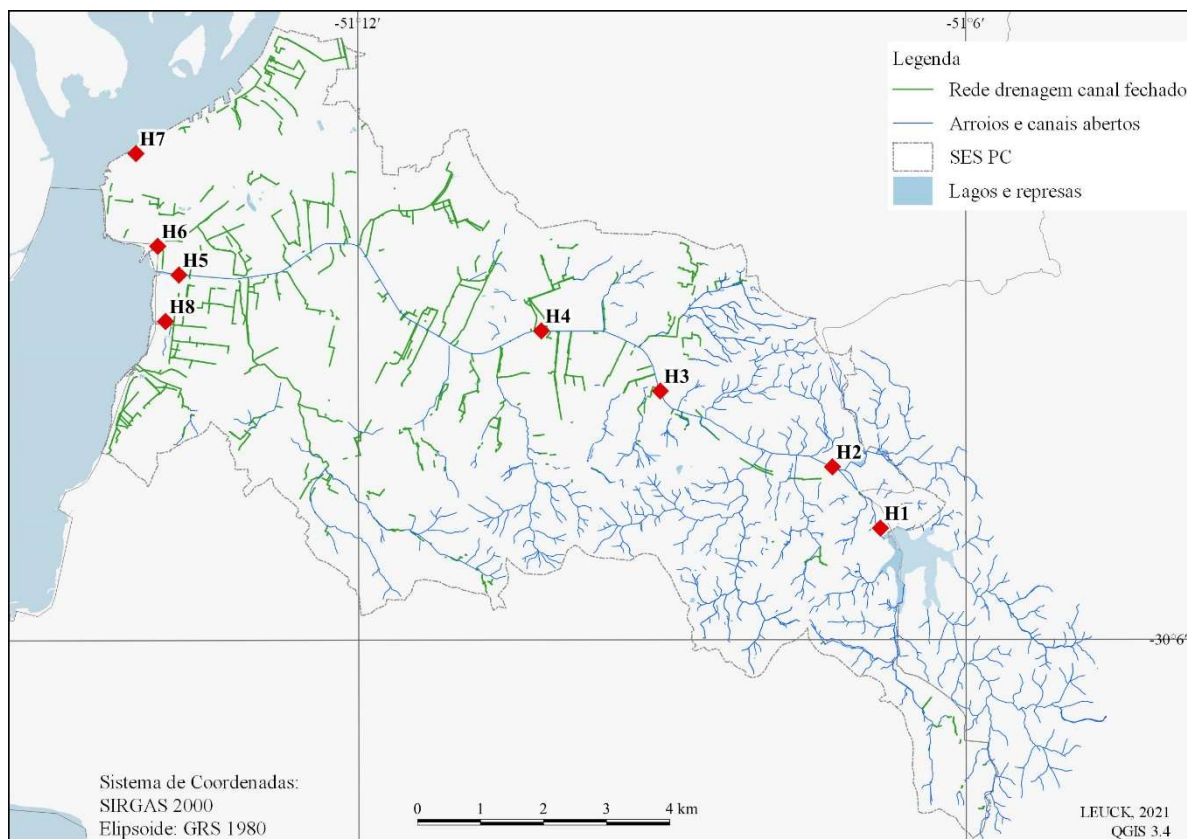
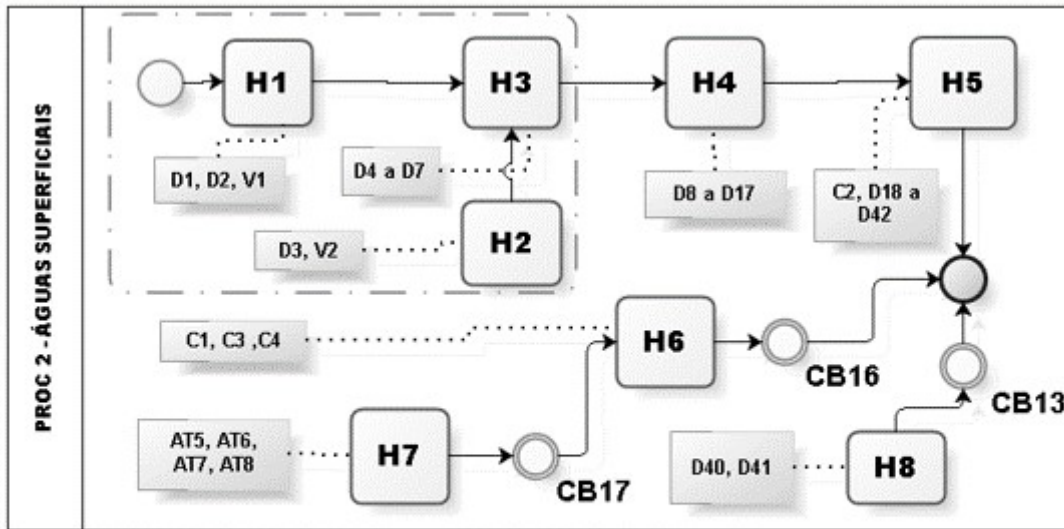


Figura 5: Pontos de monitoramento das águas superficiais na bacia do Arroio Dilúvio.

O fluxograma da Figura 6 mostra o trajeto das águas de drenagem das sub-bacias através dos sistemas de drenagem canalizados ou livres, onde os pontos de monitoramento, letras H1 a H8, são representados por retângulos na rede de drenagem ou em canal aberto e, nas estações elevatórias ou Casas de Bombas (CB), pelos círculos. Apesar das sub-bacias estarem vinculadas aos pontos H, as fronteiras das sub-bacias de esgoto não se encaixam perfeitamente ao sistema de drenagem, ou seja, a área de contribuição dos esgotos no sistema de drenagem apresenta algumas diferenças em relação às sub-bacias indicadas na Fig. 2. Portanto, para a simulação do modelo digital será necessário um pequeno ajuste na contribuição destas áreas.

A Tabela 3 mostra como foi obtida a população sem rede ou com rede lançada no sistema de drenagem, tarifas 1 e 3, nas sub-bacias e nos setores sanitários. Para obter a população total foi necessário fazer a acumulação dos dados conforme o fluxograma da Fig. 6 e subtrair ou adicionar algumas sub-bacias dentro dos setores para compatibilizar o sistema de esgotos sanitário ao sistema de drenagem pluvial.

A população que lança sua carga nas águas superficiais foi estimada em 120.549 habitantes, sendo que as sub-bacias V1 e V2 lançam a carga equivalente à 26.406 habitantes.



Powered by
bizagi
Modeler

Figura 6: Fluxograma do trajeto das águas superficiais e as sub-bacias contribuintes através dos pontos de monitoramento H1 a H8 no SES PC.

Tabela 3: População contribuinte para o sistema de drenagem pluvial no SES PC em 2018.

Setor sanitário ou sub-bacia	População com liberação dos esgotos no sistema de drenagem pluvial (habitantes)					
	Por setor ou sub-bacia	Acumulada 1	Acumulada 2	Acumulada 3	Acumulada 4	Acumulada 5
V1	6338	-	-	-	-	-
V2	21068	-	-	-	-	-
1	32038	59444	-	-	-	-
2	14110	-	-	-	-	-
3	4775	78329	-	-	-	-
4	15476	-	93805	-	-	-
5	1264	-	-	-	-	-
6	3804	-	-	97609	-	-
7	767	-	-	99640	-	-
8	57	-	-	-	-	-
6_D41	20852	-	-	-	99697	-
EBE PC	72291	-	-	-	-	120549
Total	120549	-	-	-	-	-

Distribuição das cargas orgânicas nos setores sanitários

Em 2018, os 646 km de rede que conduzem ao tratamento na ETE Serraria, atendiam 71,58% das ligações ativas e 87,79% das economias ativas. As ligações sem conexão à rede correspondem à 12,48% e as ligações conectadas à rede sem destino ao tratamento correspondem a 15,94% das ligações.

Os fluxogramas da distribuição das cargas orgânicas nas águas urbanas das Figuras 7 e 8 foram propostos para avaliar o desempenho dos sistemas de coleta nos setores sanitários. Foram estimadas as cargas orgânicas geradas para os nove pontos de monitoramento dos esgotos e os oito pontos de monitoramento das águas superficiais. Esta configuração também permite avaliar cenários de aplicação de ações nos níveis estratégico, operacional e de gestão.

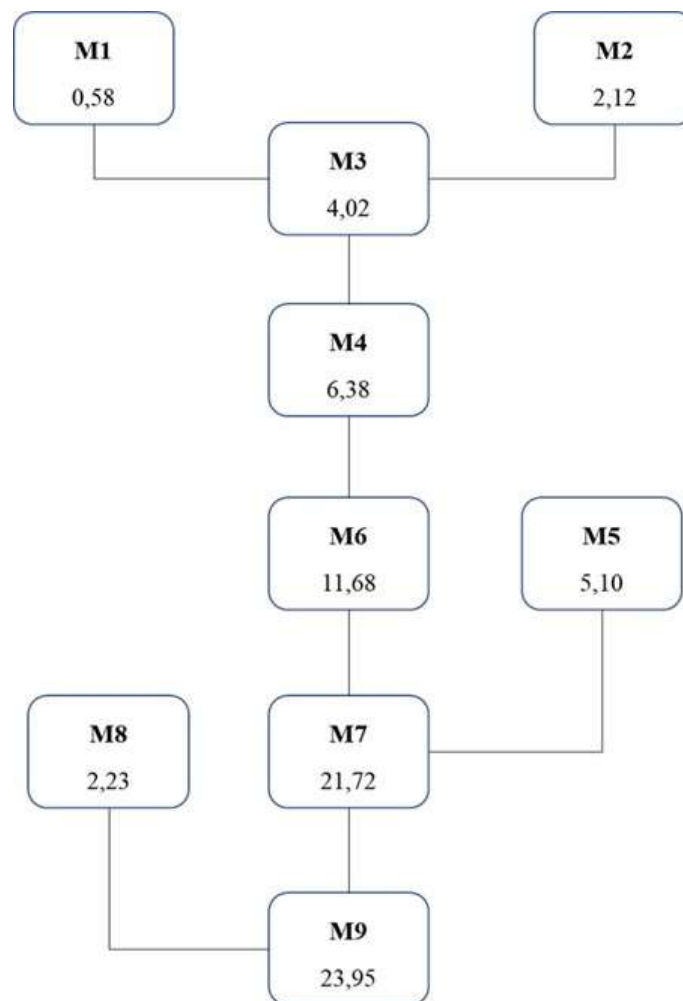


Figura 7: Fluxograma da carga orgânica acumulada nos pontos de monitoramento da rede separadora integrada do SES PC em 2018 (tDBO/d).

Considerando os valores de contribuição de DBO de 0,054 kgDBO/hab.dia (NBR12209/2011) para a população de 443.489 habitantes atendida com coleta e tratamento, tarifa 2, da Tabela 1, a carga orgânica total lançada por cada setor vai se acumulando na rede até chegar ao ponto de controle final M9, após a EBE Ponta da Cadeia. A carga total que chega no ponto M9 foi estimada em 23.948,41 kgDBO/dia, Fig. 7, ou 8.741,17 tDBO/ano.

Distribuição das cargas orgânicas nas águas superficiais

O fluxograma da Figura 8 ilustra a estimativa das cargas diárias nos oito pontos de monitoramento das águas superficiais. A carga orgânica lançada e no lago Guaíba foi estimada pelo total da população com tarifa 1, 38.146

habitantes e com a tarifa 3, 54.997 hab., mais a população das bacias V1, 6.338 hab. e V2, 21.068 hab., Tabela 3, o que resulta em uma população de 120.549 habitantes gerando a carga de 6.509,65 kgDBO/dia que é lançada no sistema de drenagem e se acumula no lago Guaíba. Na foz do arroio Dilúvio, ponto H5, estimou-se o lançamento de carga orgânica de 5.339,14 kgDBO/dia ou 2.376 tDBO/ano.

Não foi considerado o abatimento da carga por tratamento primário do tipo fossa e filtro da tarifa 3, ou seja, a carga lançada nos arroios e no lago pode ser reduzida se os sistemas de tratamento primário condominiais ou individuais estiverem em boas condições de operação. Importante considerar que, ao monitorar estes pontos, obtém-se também a carga orgânica adicional proveniente das fontes difusas de poluição como da lavagem das vias e da ressuspensão da matéria orgânica acumulada na rede de drenagem na ocorrência de chuvas.

Esta quantificação é um importante indicativo da carga de esgotos sanitários lançadas no arroio e seus tributários, que é percebida pela simples constatação visual das águas superficiais do arroio Dilúvio.

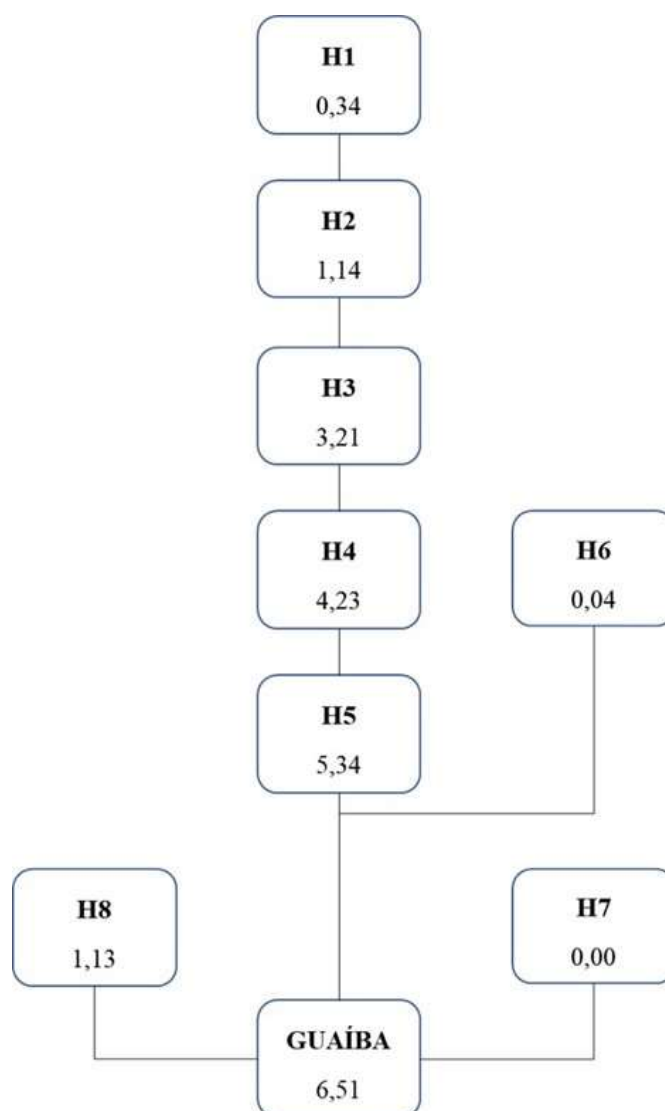


Figura 8: Fluxograma da carga org. bruta proveniente dos esgotos sanitários lançados nas águas superficiais de SES em 2018 (tDBO/d).

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os pontos de monitoramento foram definidos de modo a tornar o sistema fechado, ou seja, que se possa obter o balanço das cargas orgânicas lançadas nas águas superficiais e no sistema de coleta e, a partir daí, comparar as cargas equivalentes da população atendida e não atendida com coleta e as cargas medidas nas águas superficiais e no sistema de esgotamento sanitário.

A carga orgânica total no ponto M9 foi estimada em 23.948,41 kgDBO/dia. Segundo o Parecer da Gerência Ambiental e de Tratamento de Esgoto (GATE) nº 02/17, a carga total afluente da ETE Serraria oriunda dos quatro SES em 2018 foi de 6.548,74 toneladas, que resulta na população equivalente de 332.255 habitantes. A carga teórica oriunda apenas do SES PC foi calculada em 8.741,17 toneladas para uma população de 443.489 habitantes, ou seja, a ETE recebeu dos quatro SES um valor menor do que deveria receber do SES PC. Se a carga recebida na ETE Serraria fosse apenas do SES PC, ela estaria recebendo 74,92% da carga coletada. Ainda, segundo o parecer 02/17, as dez ETES da cidade tratam a carga orgânica de cerca de 33% da população. Estes resultados revelam a ineficiência do sistema de coleta considerando o Índice de atendimento total de esgoto (IN056) de 90,47%, referente à população atendida com coleta sobre a população atendida com água.

Para estabelecer metas de atingimento das classes 3 e 2 do arroio Dilúvio, interessam apenas os pontos H1 a H5. Os pontos H6, H7 e H8 lançam a carga orgânica diretamente no lago Guaíba, contribuindo diretamente para o fenômeno da floração de cianobactérias. O ponto H6 ainda provoca um grande impacto visual pelo fato da língua negra dos despejos se localizar ao lado da foz do arroio e em área da orla com potencial de parque de lazer.

Com o monitoramento contínuo, seria possível verificar quais os setores com as maiores discrepâncias entre a carga teórica produzida e a carga medida, direcionando as ações corretivas nestas áreas. Por exemplo, a execução da interligação de um trecho da rede coletora ao sistema integrado produz a redução de certa carga orgânica no ponto H5, conseqüentemente, deve haver um aumento desta carga no ponto M7, EBE Baronesa do Gravataí. Assim como, se ocorrer uma conexão irregular de um coletor tronco na rede de drenagem haverá uma redução da carga dos esgotos nos pontos M7 e M9 e um aumento no ponto H5. Se ocorrer a ligação da rede pluvial na rede separadora, haverá a diminuição da concentração de DBO num ponto M em tempo seco e um pico de vazão nos primeiros minutos de chuva.

A configuração dos setores foi elaborada em uma escala capaz de permitir a vinculação entre o sistema real e um modelo digital, possibilitando a construção, a validação, a simulação e a calibração de um modelo digital que contemple as variações de vazão, regime pluviométrico e concentração de poluentes nas águas urbanas. As práticas de modelagem surgiram em paralelo com conceitos de gestão. A partir da década de 1990 foi dada maior atenção para a análise integrada e a modelagem de sistemas de águas residuais urbanas; ou seja, avaliações que levam em consideração as interações entre sistemas de drenagem urbana, estações de tratamento de águas residuais (ETAR) e corpos receptores, com a inversão da lógica do sistema onde o controle é feito a partir do corpo receptor.

A Holanda desenvolveu o projeto integrado de sistemas hídricos Kallisto, que envolveu o Conselho de Água Do Rio Dommel e dez autoridades locais na região de Eindhoven. Na modelagem integrada a bacia hidrográfica, a rede de esgotos, a ETAR e as águas superficiais são simuladas ao mesmo tempo, se comportando como um sistema unificado integrado pelo software WEST. Foi aplicado um modelo de controle em tempo real (RTC) das águas residuais urbanas baseado em impactos, utilizando a infraestrutura existente, em oposição à opção de construção de uma nova estrutura. O sistema todo é operado em função da qualidade da água do rio, onde a operação dos reservatórios e bombas atuam para reter, encaminhar para a ETAR, ou extravasar as águas dos primeiros 10mm de chuva, de modo a minimizar a queda da qualidade da água nos trechos do rio. O foco é a proteção do ambiente aquático das quedas de oxigênio e dos picos de amônia causados pelas descargas combinadas do efluente da ETAR tratado biologicamente, do tanque de decantação do buffer de água da chuva (RBT) na ETAR e das mais de 200 descargas de esgotos mistos. (WEIJERS, JONGE, et al., 2012) e (BENEDETTI, LANGEVELD, et al., 2013).

O resultado foi a redução de 19% no número de picos e de 20% na carga de amônia (NH₄) lançada no corpo receptor, o rio Dommel. Estes foram os melhores resultados dos indicadores de qualidade das águas superficiais em relação às demais alternativas, melhor ainda pela economia, pois foi utilizado apenas 25% do investimento

orçado para a abordagem tradicional, segundo (VAN DAAL-ROMBOUTS et al.2017), (LANGEVELD, BENEDETTI, et al., 2013) e (BENEDETTI, LANGEVELD, et al., 2013).

Os fluxos da carga orgânica estática nas águas urbanas servem para demonstrar como o monitoramento em tempo real pode ser estruturado no SES, permitindo a construção do modelo digital. Conforme o monitoramento avance com o acúmulo de informações inseridas no banco de dados e o modelo seja aferido, haveria condições de simular cenários futuros, prevendo, por exemplo, os impactos de eventos climáticos severos no sistema e a otimização dos bombeamentos, visando a eficiência do tratamento e a redução dos impactos no corpo receptor.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O trabalho baseou-se em quatro dos dezesseis princípios fundamentais para a prestação dos serviços públicos de saneamento básico dispostos no art. 2º da Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007) e art. 3º da Lei nº 7217/2010 (BRASIL, 2010): I - a universalização do acesso e efetiva prestação do serviço, III - abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de forma adequada à saúde pública, à conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente, V - adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais, não causem risco à saúde pública e promovam o uso racional da energia, conservação e racionalização do uso da água e dos demais recursos naturais; e, XII - a integração das infraestruturas e dos serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos. A questão principal para que a meta da universalização do esgotamento sanitário atenda a estes princípios é garantir a proteção das águas superficiais à medida em que se amplia o acesso ao esgotamento sanitário de modo efetivo, através de uma metodologia desenvolvida para a gestão integrada das águas urbanas.

Considerando os resultados da pesquisa, conclui-se que o único modo de avaliar a eficiência da universalização é através do monitoramento e controle dos sistemas de esgotamento sanitário e da drenagem urbana como eles realmente se comportam, de maneira integrada. A configuração proposta prevê a utilização de um sistema de gestão integrado das águas urbanas, contribuindo com a delimitação das fronteiras dos sistemas a serem modelados e com os pontos de alimentação das informações de um modelo digital. Para a implantação de um programa de gerenciamento integrado das águas urbanas, pode-se partir de uma adaptação para o Brasil do modelo proposto por Weijers, Jonge *et al.* (2012) e Van Daal-Rombouts *et al.* (2017).

Com a inclusão da modelagem integrada abre-se a possibilidade de um sistema de controle operacional em tempo real, o gêmeo digital, que agrega a melhoria da eficiência para o esgoto afluente à ETE e a possibilidade de coleta em tempo seco usando tanques de armazenamento para atenuar picos de vazão e de carga na chegada da ETE. O que corrobora com o recomendado por Pereira *et al.* (2020) para considerar a importância de ajustar as normas técnicas e de prever nos Planos de Saneamento, que serão a base dos editais de concessão dos serviços, não só as metas e ações para universalização do atendimento via separador absoluto, mas também que considerem, do ponto de vista prático, os sistemas de drenagem existentes e as possibilidades de implantação de ações de tempo seco dos esgotos que aí já correm.

Neste modelo pode-se estabelecer metas graduais de atendimento de carga orgânica coletada e de melhoria dos indicadores de serviços pela possibilidade de verificar o resultado das ações nos setores. Outra possibilidade é o monitoramento da carga viral através dos esgotos, pois tem-se a população contribuinte associada a um ponto de monitoramento.

A desagregação do SES em setores sanitários contribui para atingir as metas de enquadramento dos arroios por segmento, sendo um elo importante do processo de gestão dos sistemas. Para assegurar e atrelar a avaliação do desempenho dos SES ao enquadramento dos corpos d'água urbanos sugere-se o monitoramento dos efluentes dos setores sanitários no licenciamento ambiental e na regulação do setor saneamento.

Pelos resultados da pesquisa conclui-se que desenvolver métodos de monitoramento e avaliação considerando a interface entre o sistema de coleta dos esgotos e os corpos hídricos é o meio para qualificar o processo de gestão dos SES, contribuindo para a melhora progressiva dos parâmetros de qualidade dos esgotos afluentes ao tratamento e das águas superficiais e possibilitando um melhor aproveitamento dos recursos destinados ao setor.

Apesar da pesquisa indicar os meios de obter melhores resultados ambientais e de saneamento, que são de extrema utilidade para os contratos de concessão e para a regulação do setor, a privatização do saneamento não é o que se defende aqui. O que se almeja é que se tenha clareza acerca das condicionantes que interferem no processo da universalização para evitar o desperdício de tempo e de recursos com a expectativa que o setor privado tenha condições de atingir um resultado que o setor público parece incapaz de equacionar.

Certamente que o setor público precisa melhorar a eficiência e isso requer uma profunda reestruturação das concessionárias, conquanto elas terem sido reduzidas ao papel de buscadoras de recursos para contratar projetos e obras. A mudança do foco da expansão e contratação de obras para a gestão e operação dos sistemas será crucial para que o setor melhore os indicadores de saneamento. Contudo, ela precisa estar acompanhada de uma metodologia de avaliação robusta dos resultados pelas agências reguladoras, os órgãos ambientais e pela sociedade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro. 1986.
2. BENEDETTI, L. et al. Cost-effective solutions for water quality improvement in the Dommel River supported by sewer-WWTP-river integrated modelling. *Water Science and Technology*, [N. I.], 68 (5), 2013. 965-973. Disponível em: <<https://doi.org/10.2166/wst.2013.312>>. Acesso em: 4 jun. 2020.
3. BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA. Programa Despoluição de Bacias Hidrográficas - Prodes, [N. I.]. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/prodes-1>>. Acesso em: 30 nov. 2020.
4. BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2005. Disponível em: <<https://www.normasbrasil.com.br/norma/?id=101645>>. Acesso em: 1 dez. 2020.
5. BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6., Brasília, DF, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 04 jan. 2019.
6. BRASIL. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências, Brasília, DF, 21 Junho 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7217.htm>. Acesso em: 17 mar 2015.
7. BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA, 2011. Disponível em: <https://www.mprs.mp.br/media/areas/gapp/arquivos/atualizacao_intra/dou/res_conama_430.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2020.
8. CORRÊA, C. S.; MYRRHA, L. J. D.; FIGOLI, M. Métodos AiBi e Logístico para projeção de pequenas área: uma aplicação para a microregião de Angicos - RN. *International Seminar on Population Estimates and Projections: Methodologies, Innovations and Estimation of Target Population applied to Public Policies*, 2011. Disponível em: <<http://www.alapop.org/alap/Docs/ProjectionsSeminar/AbstractsOthers/TrabalhoCristianeCorrea&outros.pdf>>
9. DAL FORNO, M. A. R.; MATOS, V. V. L. Parâmetros de qualidade da água do arroio Dilúvio, Porto Alegre/RS. *Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, mar 2016. 112-135. Disponível em: <<https://drive.google.com/file/d/0B58quVH22Jy7aDI6ZTBwZGRSaXM/view>>.
10. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico. IBGE, [N.I.]. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?=&t=resultados>>. Acesso em: 14 maio 2019.
11. LANGEVELD, J. G. et al. Impact-based integrated real-time control for improvement of the Dommel River water quality. *Urban Water Journal*, 10:5, 312-329 2013. Acesso em: 2 dez. 2020.
12. MACHADO, A. S.; BORJA, P. C.; MORAES, L. R. S. Desafios e oportunidades para a implantação de uma das propostas do PEMAPES: o sistema combinado. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias*

- Ambientais, S.I., 1, n. 2, 2013. 234-250. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/8436>>. Acesso em: 2016.
13. PEREIRA, L. M. F. P.; MATOS, J. S.; FERREIRA, F. S. Inserção do sistema de drenagem na concepção dos projetos de esgotamento sanitário – sua pertinência, viabilidade e admissibilidade. Anais do XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas, Porto Alegre, out. 2020. 1-10. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=7118>>. Acesso em: 28 nov. 2020.
 14. PORTO ALEGRE. Plano Diretor de Esgotos Sanitários de Porto Alegre. Porto Alegre: DMAE, v. 1, 2013.
 15. PORTO ALEGRE. Plano Municipal de Saneamento Básico - Esgotamento Sanitário. 1. ed. Porto Alegre: DMAE, 2013.
 16. RIO GRANDE DO SUL. Resolução CRH nº 207, de 09 de novembro de 2016. Retifica e complementa o enquadramento e aprova as metas intermediárias para o enquadramento das águas superficiais da bacia hidrográfica do Lago Guaíba, 2016. Disponível em: <<https://sema.rs.gov.br/resolucoes-crh>>. Acesso em: 01 nov. 2020.
 17. SCHNEIDER, V. E. et al. IV-323 –Diagnóstico sobre a universalização do acesso aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no corede Serra. In: Congresso Abes, Fenasan 2017, 2017. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2018/09/IV-323.pdf>>. Acesso em: 3 ago. 2019.
 18. SNIS, Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018. Ministério do Desenvolvimento Regional. 2020. <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2018>.
 19. TSUTIYA, M. T.; BUENO, R. C. R. Contribuição de águas Pluviais em Sistemas de Esgoto Sanitário no Brasil. Água Latinoamérica, 08, 09 2004. 20-25. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/19604458-Contribuicao-de-aguas-pluviais-em-sistemas-de-esgoto-sanitario-no-brasil.html>>.
 20. VAN DAAL-ROMBOUTS, P. et al. Performance evaluation of a smart buffer control at a wastewater treatment plant. Water Research, 2017. 180-190. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.042>>.
 21. WEIJERS, S. R. et al. KALLISTO: cost effective and integrated optimization of the urban wastewater system Eindhoven. Water practice and Technology, London, UK, 7, n. 2, 2012. 1-9. Disponível em: <<https://doi.org/10.2166/wpt.2012.036>>. Acesso em: 11 abr. 2017.