BRUNO TAVARES BARONI

**Redução dos diâmetros de ramais e coletores nos sistemas prediais de
esgotos sanitários**

São Paulo
2018

BRUNO TAVARES BARONI

**Redução dos diâmetros de ramais e coletores nos sistemas prediais de
esgotos sanitários**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Orientador:
Profa. Dra. Lúcia Helena de Oliveira

São Paulo
2018

BRUNO TAVARES BARONI

**Redução dos diâmetros de ramais e coletores nos sistemas prediais de
esgotos sanitários**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Mestre em
Ciências

Área de Concentração:
Inovação na Construção Civil

Orientador:
Profa. Dra. Lúcia Helena de Oliveira

São Paulo
2018

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Baroni, Bruno Tavares

Redução dos diâmetros de ramais e coletores nos sistemas prediais de esgotos sanitários / B. T. Baroni -- versão corr. -- São Paulo, 2018.
130 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

1.Bacia sanitária 2.Esgotos sanitários 3.Instalações prediais hidráulicas e sanitárias 4.Consumo doméstico de água I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.

BARONI, B.T. **Redução dos diâmetros de ramais e coletores nos sistemas prediais de esgotos sanitários**. São Paulo. 2018.
Mestrado Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

Dedicado a todos que ainda acreditam que a ciência pode ser aplicada na prática.
Em especial, à minha esposa Natalia e meus pais, Maria Helena e Flavio, que não
chegou a ver a conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial à Profa. Dra. Lúcia Helena de Oliveira que é um exemplo não só pela indiscutível dedicação e vocação de ensinar, mas também por seus conselhos e orientações sinceras a quem reconheço como amiga.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPQ, pelo apoio e disponibilização de verbas sem as quais não seria viável a realização deste trabalho.

À empresa Tecnologia de Sistemas em Engenharia Ltda. – TESIS, que gentilmente forneceu espaço laboratorial, apoio pessoal, insumos, materiais e equipamentos, fundamentais para a realização dos ensaios de caracterização das bacias sanitárias utilizadas neste trabalho.

Aos Professores Dr. Orestes Marraccini Gonçalves e Dr. Moacyr Eduardo Alves da Graça pelas precisas considerações e sugestões sobre o tema.

A aluna de Iniciação Científica da EPUSP, Fernanda Nogueira Comas, que me auxiliou na execução dos ensaios.

Se não for hoje, um dia será.
Algumas coisas por mais impossíveis e malucas que pareçam,
a gente sabe que foram feitas para um dia dar certo.
(Clarisse Lispector)

RESUMO

O aumento da demanda por água potável em função do crescimento populacional, vem sendo objeto de estudo de diversos pesquisadores que buscam meios de otimizar o uso desse recurso. Desse modo, ao longo dos anos os equipamentos sanitários foram sendo aperfeiçoados para tornarem-se mais eficientes. Uma preocupação é o impacto nos ramais e coletores de sistemas prediais de esgotos sanitários, uma vez que os componentes economizadores ao demandarem menos água em sua operação, retornam vazões menores para a rede predial de esgoto sanitário e, conseqüentemente, geram ondas menores que impactam negativamente na autolimpeza dos condutos horizontais. Nesse sentido, o objetivo da pesquisa foi investigar, em laboratório, as vazões e profundidades da lâmina d'água do escoamento em ramais e coletores do sistema de esgotos sanitários de edifícios residenciais unifamiliares, tendo em vista a redução de diâmetros de 100 mm para 75 mm. A pesquisa foi realizada em laboratório vertical, onde foi montada uma configuração típica de um banheiro residencial, localizada no pavimento superior. Foram utilizadas bacias sanitárias com volume nominal de descarga de 6 L e 4,8 L, um chuveiro com vazão constante de 0,20 L/s e um lavatório com vazão constante de 0,15 L/s. As bacias sanitárias foram ensaiadas para calibração, segundo a NBR 15097 (ABNT, 2011) e ambas obtiveram resultados satisfatórios em todos os requisitos dessa norma. Foram variados os diâmetros dos ramais e coletores prediais de 100 mm para 75 mm, com e sem a contribuição da vazão em regime permanente de 0,35 L/s proveniente de um chuveiro e um lavatório e as declividades variadas em 0%, 1% e 2% nos ramais e 1%, 2% e 3% nos coletores de esgoto. Avaliou-se a influência dos parâmetros declividade, volume de descarga, presença ou não de vazão em regime permanente e diâmetro da tubulação, sobre a velocidade de escoamento da água. Concluiu-se que a redução dos diâmetros dos ramais e coletores de esgoto e a redução do volume de descarga de 6 L para 4,8 L contribuíram para o aumento da velocidade da onda sob as condições de estudo em todo o trecho ensaiado, ou seja, no trecho compreendido entre a bacia sanitária e o tubo de queda e ao longo de todo comprimento de 3 m do coletor de esgoto predial. Não foi estudada a influência da variação dos parâmetros sobre a velocidade de onda em trechos além do coletor de esgoto predial. Sob as condições de estudo, observou-se que a declividade não influencia, de maneira geral, no desempenho do sistema nos trechos ensaiados. A presença de uma vazão em regime permanente contribui para amortizar a energia da onda de descarga da bacia sanitária no ramal de descarga e conseqüentemente, reduz a velocidade de escoamento da água, o que pode contribuir para a piora do requisito de autolimpeza neste trecho da tubulação. No coletor de esgoto, não foi possível concluir que a presença de vazão em regime permanente tem impacto sobre a velocidade de escoamento da água. Por fim, conclui-se ser possível a redução dos diâmetros dos ramais e coletores do sistema predial de esgoto sanitário.

Palavras-chave: Ramal de esgoto. Coletor. Conservação de água.

ABSTRACT

The increase in the demand for drinking water due to the population growth has been the object of study of several researchers who seek ways to optimize the use of this resource. In this way, over the years sanitary equipment has been improved to become more efficient. One concern is the impact on drains and main drains of building drainage system, since the economizing components, while using less water in their operation, return smaller flows to the sanitary sewage network and consequently lead to the formation of smaller waves that contribute to the self-cleaning of pipes. In this sense, the objective of the research was to investigate, in the laboratory, the flows and the depths of the flow in drains and main drains of residential building drainage system, in order to reduce diameters from 100 mm to 75 mm. The research was carried out in a vertical laboratory, where a typical configuration of a residential bathroom located on the second floor of a two story building was set up. A toilet with a nominal discharge volume of 6 L and 4,8L, a shower with a constant flow rate of 0.20 L/s and a lavatory with a constant flow rate of 0.15 L/s were used. The toilets were tested according to NBR15097 (ABNT, 2011) for calibration and both obtained satisfactory results in all the requirements of this standard. The diameters of the drains and main drains were varied from 100 mm to 75 mm with and without the contribution of the continuous flow rate of 0.35 L/s from a shower and lavatory and the slopes varying in 0%, 1% and 2% in the drains and 1%, 2% and 3% in the main drain. The influence of the parameters like slope, discharge volume, presence or not of continuous flow rate and pipe diameter, on the water flow velocity were evaluated. It was concluded that the reduction of the diameters of the drains and main drains and the reduction of the volume of discharge from 6 L to 4.8 L contribute to the increase of the velocity of the wave in the whole parts of the drain and main drain. It was not studied the influence of the variation of the parameters on the wave velocity on parts beyond the main drain. It was observed that the slope variation does not influence in general performance of the system. The presence of a continuous flow rate contributes to amortize the discharge wave energy from the toilet at the drains and consequently reduces the flow velocity of the water, which may contribute on deterioration of the self-cleaning requirements in this section of the pipeline. In the main drain, it was not possible to conclude that the presence of permanent flow has an impact on the flow velocity of the water.

Keywords: Drain. Main drain. Water conservation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1	Consumo diário de água per capita por aparelho no Reino Unido em: (a) 1976 – 115 L; (b) 2006 – 143 L.....	23
Figura 1.2	Distribuição do consumo diário de água per capita por aparelho no Brasil – 2009.....	24
Figura 1.3	Curvas de projeção da demanda total por água na macrometrópole paulista nos cenários tendencial, com ações de gestão e controle operacional das demandas e com intensificação do crescimento brasileiro.....	25
Figura 2.1	Influência dos parâmetros de escoamento no desempenho do sistema do coletor de 41 com diâmetro de 100 mm.....	30
Figura 2.2	Influência dos parâmetros de escoamento no desempenho do coletor de 41 m com a redução do diâmetro de 100 mm para 75 mm.	31
Figura 2.3	Curva típica de descarga de bacia sanitária.....	33
Figura 2.4	Corte longitudinal de um tubo com a formação de onda atrás do sólido.....	34
Figura 2.5	Corte longitudinal de um tubo com altura de lâmina d'água insuficiente.....	34
Figura 2.6	Corte longitudinal de uma configuração de transição entre escoamento vertical e horizontal.....	35
Figura 3.1	Caracterização geral das atividades.....	39
Figura 3.2	Configuração esquemática do modelo.....	42
Figura 3.3	Posicionamento dos sensores.....	43
Figura 3.4	Distâncias entre sensores na configuração utilizada nos ensaios no pavimento superior para tubulação de 100 mm.....	44
Figura 3.5	Distâncias entre sensores na configuração utilizada nos ensaios no pavimento superior para tubulação de 75 mm.....	44
Figura 3.6	Configuração montada no laboratório de sistemas prediais. Vista lateral piso superior (a) e vista longitudinal de montante para jusante no piso superior (b).....	45
Figura 3.7	Distâncias entre sensores na configuração utilizada nos ensaios no pavimento inferior para coletor com diâmetro de 100 mm.....	46
Figura 3.8	Distâncias entre sensores na configuração utilizada nos ensaios no pavimento inferior para coletor com diâmetro de 75 mm.....	46
Figura 3.9	Configuração montada para monitorar o escoamento do coletor de esgoto no pavimento inferior (a), (b).....	47
Figura 3.10	Curva Característica de descarga bacia sanitária VDN 6 L.....	48
Figura 3.11	Curva Característica de descarga bacia sanitária VDN 4,8 L.....	49
Figura 3.12	Detalhamento das instalações laboratoriais para ensaio de caracterização.....	50
Figura 4.1	Recipiente plástico sobre balança (a) e indicador digital da balança (b).....	56
Figura 4.2	Placa de acrílico sobre calços simulando a altura do assento da bacia nas condições de uso (a). Respingos de água que subiram acima do plano de transbordamento (b).....	58
Figura 4.3	Caneta de ponta porosa e gabarito para manter a distância (a), Linha sendo traçada na superfície da bacia (b).....	61
Figura 4.4	Esferas de polipropileno em gabarito de 100 unidades que facilita contagem durante a realização do ensaio.....	62

Figura 4.5	Folha de papel Kraft e esponjas de poliuretano dispostos no poço da bacia sanitária.....	64
Figura 4.6	Esferas de náilon e grânulos de polietileno no poço da bacia sanitária (a) e (b).....	66
Figura 4.7	Ramal de descarga com DN 100, 18 m de comprimento e 1% de declividade.....	67
Figura 5.1	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 0% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm.....	74
Figura 5.2	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm.....	74
Figura 5.3	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm.....	75
Figura 5.4	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 0% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm.....	76
Figura 5.5	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm.....	77
Figura 5.6	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm.....	78
Figura 5.7	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 0% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm.....	79
Figura 5.8	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm.....	80
Figura 5.9	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm.....	80
Figura 5.10	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 0% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm.....	82
Figura 5.11	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm.....	82
Figura 5.12	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm.....	83

Figura 5.13	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 0% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L - Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm.....	84
Figura 5.14	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm.....	85
Figura 5.15	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm.....	86
Figura 5.16	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 0% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm.....	87
Figura 5.17	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm.....	88
Figura 5.18	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm.....	88
Figura 5.19	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 0% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8L – Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm.....	89
Figura 5.20	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L - Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm.....	90
Figura 5.21	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm.....	91
Figura 5.22	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 0% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s - Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm.....	92
Figura 5.23	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/ s - Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm.....	92
Figura 5.24	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s - Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm.....	93
Figura 5.25	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm.....	95
Figura 5.26	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm.....	96

Figura 5.27	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 3% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm.....	96
Figura 5.28	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm.....	98
Figura 5.29	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm.....	98
Figura 5.30	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 3% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm.....	99
Figura 5.31	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm.....	100
Figura 5.32	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm.....	101
Figura 5.33	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 3% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm.....	101
Figura 5.34	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm.....	103
Figura 5.35	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm.....	103
Figura 5.36	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 3% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm.....	104
Figura 5.37	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm.....	105
Figura 5.38	Profundidade do escoamento em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm.....	106
Figura 5.39	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 3% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm.....	106
Figura 5.40	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm.....	108

Figura 5.41	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm.....	108
Figura 5.42	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 3% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm.....	109
Figura 5.43	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm.....	110
Figura 5.44	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm.....	111
Figura 5.45	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 3% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm.....	111
Figura 5.46	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm.....	112
Figura 5.47	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm.....	113
Figura 5.48	Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 3% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm.....	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Condições de ensaio bacia sanitária de VDN 6 L e 4,8 L.....	51
Tabela 4.1	Volume de água consumido por descarga para a bacia sanitária de VDN 6 L.....	56
Tabela 4.2	Volume de água consumido por descarga para a bacia sanitária de VDN 4,8 L.....	57
Tabela 4.3	Respingos de água para a bacia sanitária de VDN 6 L.....	57
Tabela 4.4	Respingos de água para a bacia sanitária de VDN 4,8 L.....	58
Tabela 4.5	Altura do fecho hídrico para a bacia sanitária de VDN 6 L.....	59
Tabela 4.6	Altura do fecho hídrico para a bacia sanitária de VDN 4,8 L.....	59
Tabela 4.7	Reposição do fecho hídrico para a bacia sanitária de VDN 6 L...	60
Tabela 4.8	Reposição do fecho hídrico para a bacia sanitária de VDN 4,8 L.	60
Tabela 4.9	Lavagem de parede para a bacia sanitária de VDN 6 L.....	61
Tabela 4.10	Lavagem de parede para a bacia sanitária de VDN 4,8 L.....	61
Tabela 4.11	Remoção de esferas após o acionamento da descarga em bacia sanitária de VDN 6 L.....	63
Tabela 4.12	Remoção de esferas após o acionamento da descarga em bacia sanitária de VDN 4,8 L.....	63
Tabela 4.13	Remoção de mídia composta de bacia sanitária com VDN de 6 L.....	64
Tabela 4.14	Remoção de mídia composta de bacia sanitária com VDN de 4,8 L.....	65
Tabela 4.15	Remoção de grânulos de bacia sanitária com VDN de 6 L.....	66
Tabela 4.16	Remoção de grânulos de bacia sanitária com VDN de 4,8 L.....	66
Tabela 4.17	Transporte de sólidos da bacia sanitária com VDN de 6 L – 1ª repetição.....	68
Tabela 4.18	Transporte de sólidos da bacia sanitária com VDN de 6 L – 2ª repetição.....	68
Tabela 4.19	Transporte de sólidos da bacia sanitária com VDN de 6 L – 3ª repetição.....	69
Tabela 4.20	Transporte de sólidos da bacia sanitária com VDN de 4,8 L – 1ª repetição.....	70
Tabela 4.21	Transporte de sólidos da bacia sanitária com VDN de 4,8 L – 2ª repetição.....	70
Tabela 4.22	Transporte de sólidos da bacia sanitária com VDN de 4,8 L – 3ª repetição.....	71
Tabela 5.1	Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 100 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, ausência de vazão em regime permanente e variação da declividade em 0%, 1% e 2% no pavimento superior.....	73
Tabela 5.2	Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 100 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, presença de vazão em regime	

	permanente no valor de 0,35L/s e variação da declividade em 0%, 1% e 2% no pavimento superior.....	76
Tabela 5.3	Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 100 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 4,8 L, ausência de vazão em regime permanente e variação da declividade em 0%, 1% e 2% no pavimento superior.....	79
Tabela 5.4	Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 100 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 4,8 L, presença de vazão em regime permanente no valor de 0,35 L/s e variação da declividade em 0%, 1% e 2% no pavimento superior.....	81
Tabela 5.5	Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 75 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, ausência de vazão em regime permanente e variação da declividade em 0%, 1% e 2% no pavimento superior.....	84
Tabela 5.6	Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 75 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, presença de vazão em regime permanente e variação da declividade em 0%, 1% e 2% no pavimento superior.....	86
Tabela 5.7	Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 75 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, ausência de vazão em regime permanente e variação da declividade em 0%, 1% e 2% no pavimento superior.....	89
Tabela 5.8	Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 75 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 4,8 L, presença de vazão em regime permanente e variação da declividade em 0%, 1% e 2% no pavimento superior.....	91
Tabela 5.9	Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 100 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, ausência de vazão em regime permanente e variação da declividade em 1%, 2% e 3% no pavimento inferior.....	94
Tabela 5.10	Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 100 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, presença de vazão em regime permanente e variação da declividade em 1%, 2% e 3% no pavimento inferior.....	97
Tabela 5.11	Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 100 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 4,8 L, ausência de vazão em regime permanente e variação da declividade em 1%, 2% e 3% no pavimento inferior.....	100
Tabela 5.12	Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 100 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 4,8 L, presença de vazão em regime	

	permanente e variação da declividade em 1%, 2% e 3% no pavimento inferior.....	102
Tabela 5.13	Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 75 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, ausência de vazão em regime permanente e variação da declividade em 1%, 2% e 3% no pavimento inferior.....	105
Tabela 5.14	Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 75 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, presença de vazão em regime permanente e variação da declividade em 1%, 2% e 3% no pavimento inferior.....	107
Tabela 5.15	Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 75 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 4,8 L, ausência de vazão em regime permanente e variação da declividade em 1%, 2% e 3% no pavimento inferior.....	109
Tabela 5.16	Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 75 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 4,8 L, presença de vazão em regime permanente e variação da declividade em 1%, 2% e 3% no pavimento inferior.....	112
Tabela 6.1	Variação percentual da velocidade de escoamento no ramal de descarga e esgoto em m/s em função da mudança de declividade para a montagem do pavimento superior nas diferentes configurações de ensaio.....	117
Tabela 6.2	Variação percentual da velocidade de escoamento no coletor de esgoto em m/s em função da mudança de declividade para a montagem do pavimento inferior nas diferentes configurações de ensaio.....	117
Tabela 6.3	Variação percentual da velocidade de escoamento no ramal de descarga e esgoto em m/s em função da mudança de volume de descarga nominal para a montagem do pavimento superior nas diferentes configurações de ensaio.....	118
Tabela 6.4	Variação percentual da velocidade de escoamento no coletor de esgoto em m/s em função da mudança de volume de descarga nominal para a montagem do pavimento inferior nas diferentes configurações de ensaio.....	119
Tabela 6.5	Variação percentual da velocidade de escoamento no ramal de descarga e esgoto em m/s em função da presença de vazão em regime permanente na tubulação nas diferentes configurações na montagem do pavimento superior.....	120
Tabela 6.6	Variação percentual da velocidade de escoamento no coletor de esgoto em m/s em função da presença de vazão em regime permanente na tubulação nas diferentes configurações na montagem do pavimento inferior.....	121
Tabela 6.7	Variação percentual da velocidade de escoamento no ramal de descarga e esgoto em m/s em função da redução dos diâmetros das tubulações para montagem do pavimento superior nas diferentes configurações de ensaio.....	122

Tabela 6.8	Variação percentual da velocidade de escoamento em m/s em função da redução dos diâmetros das tubulações para montagem do pavimento inferior nas diferentes configurações de ensaio.....	123
------------	--	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
CNPQ	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CSA	<i>Canadian Standards Association</i>
CFD	<i>Computational Fluid Dynamics</i>
DN	Diâmetro Nominal
EMPLASA	Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A
EPA	<i>Envionmental Protection Agency</i>
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
EUA	Estados Unidos da América
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
DAEE SP	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LSP	Laboratório de Sistemas Prediais
MPS	<i>Moving Particle Semi-Implicit</i>
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
PBQP-H	Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat
PERC	<i>Plumbing Efficiency Research Colition</i>
PVC	Policloreto de Vinila
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
USP	Universidade de São Paulo
S1 a S6	Sensores de 1 a 6
VDN	Volume de Descarga Nominal

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	22
1.1	PANORAMA GERAL.....	22
1.1.1	Água no mundo.....	22
1.1.2	Água no Brasil.....	23
1.1.3	Água no Estado de São Paulo.....	24
1.2	OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS.....	26
2.	IMPACTO DA CONSERVAÇÃO DE ÁGUA NO ESCOAMENTO DE RAMAIS E COLETORES DE SISTEMAS PREDIAIS DE ESGOTO SANITÁRIO.....	28
2.1	ESCOAMENTO DE ÁGUA EM SISTEMAS PREDIAIS DE ESGOTO SANITÁRIO.....	28
2.2	DIMENSIONAMENTO DE RAMAIS E COLETORES.....	35
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1	CONFIGURAÇÃO DO MODELO.....	40
3.1.1	Ensaio normativo.....	47
3.2	MATERIAIS E CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS SANITÁRIAS.....	47
3.2.1	Características da amostra VDN 6 L.....	47
3.2.2	Características da amostra VDN 4,8 L.....	49
3.2.3	Equipamentos utilizados.....	49
3.4	MÉTODO DE ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO PARA AS BACIAS SANITÁRIAS VDN 6 L E VDN 4,8 L.....	51
3.4.1	Volume de água consumido por descarga.....	52
3.4.2	Altura do fecho hídrico.....	52
3.4.3	Reposição do fecho hídrico.....	52
3.4.4	Remoção de esferas.....	53
3.4.5	Transporte de sólidos (esferas).....	53
3.4.6	Lavagem de parede (linha de tinta).....	53
3.4.7	Remoção de grânulos.....	53
3.4.8	Respingos de água.....	54
3.4.9	Remoção de mídia composta.....	54
4	CARACTERIZAÇÃO LABORATORIAL DAS BACIAS SANITÁRIAS	55

4.1	ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS SANITÁRIAS VDN 6 L E VDN 4,8 L	55
4.1.1	Volume de água consumido por descarga.....	55
4.1.2	Respingos de água.....	57
4.1.3	Altura do fecho hídrico.....	58
4.1.4	Reposição do fecho hídrico.....	59
4.1.5	Lavagem de parede da bacia sanitária.....	60
4.1.6	Remoção de esferas.....	62
4.1.7	Remoção de mídia composta.....	63
4.1.8	Remoção de grânulos.....	65
4.1.9	Transporte de sólidos (esferas).....	67
4.1.10	Análise dos resultados.....	71
5	ANÁLISE DO ESCOAMENTO EM RAMAIS E COLETORES DE ESGOTO SANITÁRIO.....	72
5.1	ANÁLISE DO ESCOAMENTO NAS SEÇÕES DOS RAMAIS DE ESGOTO	72
5.1.1	Ensaio no ramal de esgoto com diâmetro de 100 mm.....	72
5.1.2	Ensaio no ramal de esgoto com diâmetro de 75 mm.....	83
5.3	ENSAIOS E ANÁLISE DO ESCOAMENTO NOS COLETORES.....	93
5.3.1	Ensaio no coletor de esgoto com diâmetro de 100 mm.....	93
5.3.2	Ensaio no coletor de esgoto com diâmetro de 75 mm.....	104
6	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	115
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	124
7.1	CONCLUSÕES.....	124
7.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	125
	REFERÊNCIAS.....	127

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por água potável vem sendo objeto de estudo de diversos pesquisadores em todo o mundo que buscam meios de suprir a necessidade desse recurso seja por aumento da oferta, redução da demanda ou a ação combinada de aumento da oferta com redução da demanda. Neste cenário, observou-se ao longo dos anos o desenvolvimento de aparelhos sanitários mais eficientes do ponto de vista do consumo de água.

1.1 PANORAMA GERAL

1.1.1 Água no mundo

A Organização Mundial da Saúde (OMS), define o acesso a água potável como um direito humano básico, fundamental para a vida, além de ser um instrumento de política pública efetivo para saúde da população (WHO, 2011). Todavia, a disponibilidade desse recurso não é igual nas diferentes partes do mundo fazendo com que algumas populações vivam de maneira precária por falta de acesso a esse bem. A previsão da OMS é que em 2030 o déficit global de água potável no mundo seja de 40% (WWAP, 2015).

O aumento da demanda por água potável pela população tem, entre outras, duas explicações principais. A primeira é o crescimento populacional, principalmente em áreas urbanas. A segunda explicação é que, além do aumento populacional, há o aumento da exigência da população em relação aos requisitos limpeza e conforto, fazendo com que o volume desse recurso aumente ano após ano (ALLON *et al.*, 2006). No Reino Unido por exemplo, desde 1930 o consumo *per capita* de água aumentou cerca de 1% ao ano, apenas por mudança nos hábitos da população (KELLY, 2015).

Em pesquisa realizada no Reino Unido, Swaffield (2009) comparou o volume de água diário utilizado por pessoa por aparelho em uma residência em 1976 e 2006 e observou que embora tenha havido aumento no volume de água consumido por pessoa, houve também o aumento na distribuição de probabilidades de ocorrência de

utilização dos aparelhos sanitários e consequente redução das vazões lançadas simultaneamente nos sistemas prediais de esgoto sanitário.

Outro dado relevante foi que embora os aparelhos sanitários tenham ficado mais eficientes do ponto de vista do consumo de água, foram desenvolvidos ao longo do tempo inúmeros equipamentos sanitários, contribuindo para o aumento do volume de consumo *per capita*. O percentual de consumo per capita distribuído pelos aparelhos em 1976 e 2006 estão apresentados na Figura 1.1 e Figura 1.2 respectivamente.

Figura 1.1 Consumo diário de água *per capita* por aparelho no Reino Unido em: (a) 1976 – 115 L; (b) 2006 – 143 L

Fonte: Adaptado pelo autor de Swaffield (2009)

1.1.2 Água no Brasil

Considerando a quantidade total de água no território nacional, percebe-se que o Brasil se encontra em situação privilegiada em relação as demais nações do mundo. Da água doce disponível no planeta, estima-se que 12% está localizado em território nacional. Sabe-se que esta situação é artificial, pois o Brasil, por se tratar de um país com dimensões continentais, apresenta grande variação da disponibilidade de água em seu território em função do seu relevo, diferentes latitudes, geografia, clima, uso e ocupação do solo. De toda a água disponível no Brasil, cerca de 80% está localizada na bacia amazônica, distante dos principais centros consumidores e da maior parte da população (ANA, 2013). Em pesquisa realizada por Colussi (2009), a pesquisadora avaliou o consumo doméstico típico de uma residência cujos dados são apresentados a seguir na Figura 1.2.

Figura 1.2 Distribuição do consumo diário de água *per capita* por aparelho no Brasil - 2009

Fonte: Adaptado pelo autor de Colussi (2009)

1.1.3 Água no Estado de São Paulo

No Estado de São Paulo, o plano diretor de aproveitamento dos recursos hídricos para a macrometrópole paulista, com base principalmente nos dados fornecidos pela Sabesp e com o emprego de estimativas de crescimento populacionais desenvolvidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e pela Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A (EMPLASA), apresenta possíveis cenários para o crescimento da demanda por água na região que engloba as regiões metropolitanas de São Paulo, Baixada Santista, Campinas, Ribeirão Preto, Sorocaba e a região metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte.

No plano são apresentados três cenários a partir de 2008 com projeção até 2035, apresentados na Figura 1.3. O cenário base, denominado tendencial, mantém as características atuais de produção de água e projeta a demanda no tempo. Este cenário é ilustrado pela linha azul da Figura 1.3. O segundo cenário é o cenário estressado onde projeta-se a demanda por água com a intensificação do crescimento populacional, linha laranja. Por fim, o terceiro cenário mostra qual seria a demanda projetada, caso sejam adotadas ações de gestão e controle operacional das demandas, linha verde.

Figura 1.3 Curvas de projeção da demanda total por água na macrometrópole paulista nos cenários tendencial, com ações de gestão e controle operacional das demandas e com intensificação do crescimento brasileiro.

Fonte: Adaptado pelo autor de DAEE SP (2013).

Observando-se as curvas de projeção da demanda total por água na região da macrometrópole paulista, Figura 1.3, em 2035, considerando-se o cenário tendencial, ou seja, mantidas as características atuais de produção de 223 m³/s e as características de consumo per capita, o déficit estimado no volume produzido será de 60 m³/s. Se considerada a projeção da demanda em um cenário de intensificação do crescimento populacional, linha laranja, o déficit poderá chegar a 73 m³/s. Caso sejam adotadas ações de gestão e controle operacional das demandas, linha verde, o déficit estimado será de 28 m³/s.

Também, de acordo com plano, não será possível atender à crescente demanda por água potável sem o desenvolvimento em conjunto de tecnologias que aumentem a oferta de água potável e tecnologias que reduzam a demanda por esse recurso (DAEE, 2013).

Com objetivo de evitar que as situações descritas anteriormente ocorram, os municípios têm instituído programas de uso racional de água. Estas ações vêm incentivando o desenvolvimento de novos aparelhos que utilizam volumes reduzidos em sua operação. O Município de São Paulo por exemplo, instituiu o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água e Reuso em Edificações, Lei nº 14.018 (São Paulo, 2005) que estabeleceu medidas que induzam à conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas para a captação de água e reuso nas novas edificações, bem como a conscientização dos usuários sobre a importância da conservação da água, além de estimular a criação de novas tecnologias que otimizem o consumo deste bem natural.

Neste contexto, observa-se um incentivo ao desenvolvimento e emprego de aparelhos sanitários que demandam vazões reduzidas dos sistemas prediais de água e, conseqüentemente, retornam vazões reduzidas para os sistemas de esgotos sanitários. Essas vazões, por serem menores, impactam na formação de ondas que contribuem para a autolimpeza destes elementos do sistema predial de esgotos sanitários.

Sabe-se que a autolimpeza das tubulações é menor em distancias maiores, sendo crítica em pontos mais distantes. Todavia, neste trabalho, serão considerados e avaliados os trechos iniciais do sistema, inferiores a 4 metros da bacia sanitária ou tubo de queda e por isso locais onde a energia cinética ainda é o principal mecanismo atuante no movimento da onda.

Assim, nesta pesquisa procura-se validar a hipótese de que, ao reduzir os diâmetros mínimos das tubulações, permitir-se-á formação de ondas mais eficientes para o atendimento aos requisitos de autolimpeza das tubulações sem que haja o aparecimento de patologias, principalmente, a sifonagem induzida dos demais dispositivos do sistema.

1.2 OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O objetivo geral desta pesquisa é, considerando-se os ensaios laboratoriais, verificar a possibilidade de redução do diâmetro do ramal de esgoto e coletor do sistema

predial de esgoto sanitário de 100 mm para 75 mm em edifícios residenciais unifamiliares e contribuir para a inovação e sustentabilidade destes sistemas, sobretudo nas condições mais críticas de baixa declividade em espaços confinados, como em um banheiro residencial.

Os objetivos específicos são realizar ensaios laboratoriais em uma configuração típica de um banheiro para:

- avaliar velocidades e profundidades de escoamento em configurações com diâmetros convencionais (100 mm) em ramais com declividades de 0%, 1% e 2% e em coletores com declividades de 1%, 2% e 3% considerando bacias sanitárias com volume de descarga nominal de 6 L e de 4,8 L.
- avaliar velocidades e profundidades de escoamento em configurações com diâmetros reduzidos (75 mm) em ramais com declividades de 0%, 1% e 2% e em coletores com declividades de 1%, 2% e 3% considerando bacias sanitárias com volume de descarga nominal de 6 L e de 4,8 L.
- Verificar na ocasião dos ensaios a ocorrência dos fenômenos de autosifonagem na bacia sanitária e ralo sifonado.
- obter dados para a validação de simulações computacionais das configurações destes mesmos ambientes sanitários.

2 IMPACTO DA CONSERVAÇÃO DE ÁGUA NO ESCOAMENTO DE RAMAIS E COLETORES DE SISTEMAS PREDIAIS DE ESGOTO SANITÁRIO

Neste capítulo são apresentadas as características do escoamento em sistemas prediais de esgoto sanitário, sobretudo suas particularidades, segundo as quais, podem ter os requisitos de desempenho no critério limpeza afetados. São apresentados os estudos realizados anteriormente bem como os resultados encontrados.

A nomenclatura utilizada no trabalho está de acordo com a empregada na NBR 8160 (ABNT,1999) que define como ramal de esgoto a tubulação primária que recebe os efluentes dos ramais de descarga diretamente ou a partir de um desconector; define ramal de descarga como a tubulação que recebe diretamente os efluentes de aparelhos sanitários; define o tubo de queda como a tubulação vertical que recebe efluentes de subcoletores, ramais de esgoto e ramais de descarga, por fim, define o coletor predial como trecho de tubulação compreendido entre a última inserção de subcoletor, ramal de esgoto ou de descarga, ou caixa de inspeção geral e o coletor público ou sistema particular.

2.1 ESCOAMENTO DE ÁGUA EM SISTEMAS PREDIAIS DE ESGOTO SANITÁRIO

O sistema predial de esgoto sanitário opera de maneira colaborativa em função dos equipamentos a ele conectados, ou seja, as vazões de escoamento provenientes dos equipamentos sanitários, sejam estes escoamentos em regime permanente ou não, somam-se às demais vazões para permitirem o cumprimento dos requisitos de desempenho no critério limpeza para os condutores de esgoto.

Nos EUA, a lei de política energética, promulgada em 1992, obrigou que as bacias sanitárias produzidas ou importadas pelos Estados Unidos tivessem volume de descarga nominal de 6 L. A implantação dessas bacias no mercado fez com que os usuários passassem a relatar problemas de desempenho nas bacias e nos sistemas de esgoto sanitário. Várias pesquisas foram realizadas para solucionar os problemas relacionados ao desempenho de bacias sanitárias e as melhorias apontadas foram absorvidas rapidamente pela indústria fabricante dessas bacias. Para estudar os

problemas relativos ao sistema predial de esgoto sanitário, em 2009 foi formado o *Plumbing Efficiency Research Colition* (PERC, 2012).

Os estudos realizados pelo PERC foram divididos em duas etapas. Durante a primeira fase, realizada em 2012, foram realizados testes em tubulações de 41 m, diâmetro de 100 mm e volumes de descarga de 3 L, 4,8 L e de 6 L para avaliar a capacidade de transporte de resíduos sólidos em coletores. Produziu-se dados relativos ao desempenho do sistema de esgoto sanitário em função da variação dos seguintes parâmetros em tradução livre: volume de descarga, curva de descarga da bacia sanitária, volume de água a montante dos sólidos, declividade e tipo do papel higiênico descartado na bacia.

Para análise dos dados, por se tratar de um experimento com múltiplas variáveis, foi necessário desenvolver um plano para classificar a significância de cada ensaio e ser possível assim, ordenar de acordo com a importância de cada variável em relação as demais. Esse plano foi chamado de Design of Experiments ou Design de Experimentos em uma tradução livre e é caracterizado por uma sequência de testes aleatórios que permitiu correlacionar a interdependência entre as variáveis ensaiadas. O PERC então determinou um Design de Experimentos que empregasse análise de variância chamada ANOVA como a principal ferramenta para análise dos dados. ANOVA é caracterizada por ser uma ferramenta estatística que separa a variação aleatória (ruído) de um sinal significativo e é muito útil para comparação de duas ou mais variáveis.

A partir da análise estatística sobre os dados foi possível determinar qual o impacto de cada variável cuja função determina o escoamento, sobre os requisitos de desempenho do sistema. Foi criada uma relação de significância de impacto adimensional variando de 0 até 24 cuja correlação numérica serviu apenas para efeitos de comparação.

Os resultados indicaram que o desempenho geral do sistema é significativamente alterado por duas variáveis: Volume de descarga e tipo do papel higiênico; enquanto as outras variáveis: declividade, curva de descarga e volume de água a montante dos sólidos não foram significativas no desempenho, em comparação com as variáveis

mais impactantes (PERC, 2012). Os gráficos da Figura 2.1 mostram o impacto de cada variável sobre o desempenho do sistema predial de esgoto sanitário.

Figura 2.1 Influência dos parâmetros de escoamento no desempenho do sistema do coletor de 41 com diâmetro de 100 mm.

Fonte: PERC (2012)

Importante ressaltar que os costumes e hábitos dos cidadãos americanos em relação ao uso da bacia sanitária difere dos cidadãos brasileiros. Dessa maneira, o relatório destaca que o requisito de desempenho no critério limpeza sofre grande influência do tipo do papel higiênico descartado na bacia sanitária, sobretudo, em função do parâmetro de resistência a tração do papel (PERC, 2012).

A segunda etapa dos estudos realizados pelo PERC, foi finalizada em 2016. O foco da segunda etapa foi de avaliar o impacto da redução dos diâmetros das tubulações de 100 mm para 75 mm utilizando volumes de descarga de nominais de 6 L e 4,8 L e avaliar o desempenho do sistema na utilização de bacias com volume nominal de descarga de 3,8 L. Em relação a redução dos diâmetros, o relatório classifica como baixa ou sem influência a diminuição dos diâmetros no aumento da lâmina d'água interna na tubulação durante o escoamento. Os resultados apresentados na Figura 2.2 indicaram que para os volumes de descarga 4,8 L e de 6 L existem três

variáveis significativas: declividade, papel higiênico e volume de descarga e três variáveis não significativas: volume de água a montante, vazão de descarga e diâmetro da tubulação (PERC, 2016).

Figura 2.2 Influência dos parâmetros de escoamento no desempenho do coletor de 41 m com a redução do diâmetro de 100 mm para 75 mm

Fonte: PERC (2016)

Ressalta-se, porém, que os estudos conduzidos pelo PERC procuraram simular condições reais e críticas de utilização. A distância de saída utilizada nos ensaios foi de, aproximadamente, 40 m, em que as variáveis críticas que impactaram significativamente os requisitos de desempenho foram volume de descarga e tipo do papel higiênico. Diferentemente, a norma americana, ASME A112.19.2 / CSA B45.1 *Ceramic Plumbing Fixtures* fixa como distância de transporte de, aproximadamente, 12 m, na qual se calcula a distância do centro de massa transportado de uma amostra com 100 esferas de $\frac{3}{4}$ " de diâmetro (EPA, 2014).

Após análise do gráfico da Figura 2.2, percebe-se que as reduções dos diâmetros das tubulações tiveram pouca significância no desempenho geral do sistema e, portanto, a prática de redução não deve ser adotada em trecho longos, entretanto, é possível afirmar ser importante a verificação do desempenho em ramais e coletores de pequenos comprimentos, como os utilizados em edifícios residenciais unifamiliares, conforme propõe esta pesquisa.

Ressalta-se, porém, que houve grande perda de eficiência ao se variarem os volumes de 4,8 L para 3,8 L e concluiu-se que não é recomendado em instalações comerciais,

sobretudo os que tenham longa tubulação horizontal, a utilização de bacias com VDN de 3,8 L. Tal recomendação não é aplicada a residências.

Nos EUA, as mídias utilizadas nos ensaios de caracterização são: Pasta de soja não encapsulada cuja composição é 35,5% água, 33,8% soja, 18,5% arroz e 12,2% sal. Densidade de $1,15 \pm 0,10$ g/mL e papel higiênico. Embora as mídias utilizadas segundo a norma americana sejam distintas das condições reais de utilização, para trechos curtos, como por exemplo da bacia sanitária ao tubo de queda ou caixa de inspeção, os ensaios da norma americana aproximam-se da realidade.

No Brasil, dadas as características de utilização serem muito diferentes da americana, sobretudo em relação ao descarte de papel higiênico no sistema de esgoto sanitário, e ainda apresentar situações críticas de utilização como baixa declividade e grandes diâmetros, é necessário avaliar a possibilidade de redução dos diâmetros, principalmente nos ramais e coletores do sistema predial de esgoto sanitário, considerando-se as características de uso predominantes de baixa declividade e em geral, ausência de papel higiênico descartado na tubulação.

A distância de transporte de sólidos, sobretudo nas proximidades do aparelho sanitário, ou seja, nos ramais dos sistemas prediais de esgotos sanitários varia em função dos seguintes parâmetros: massa dos sólidos, volume de descarga após o despejo dos sólidos, peso específico dos sólidos, seção transversal dos sólidos, volume total de descarga, declividade da tubulação e seção transversal da tubulação (SWAFFIELD 2009).

O escoamento no interior dos sistemas prediais de esgoto sanitário, decorrente do acionamento da bacia sanitária, ocorre de forma livre em regime não permanente e é caracterizado por movimento em ondas. Segundo Swaffield (2009), a curva de descarga da bacia sanitária, e principalmente, o volume de descarga após o despejo dos sólidos, são variáveis importantes para o atendimento aos requisitos de desempenho no critério limpeza para os condutores de esgoto. A Figura 2.3 apresenta a curva típica de descarga de uma bacia sanitária no tempo. A integral da curva, área pintada, é o volume de água total que é despejado pela bacia no sistema predial de esgoto sanitário. A área em azul, é o volume de água despejado no sistema antes da

saída do sólido da bacia sanitária. A área pintada em vermelho, corresponde ao volume de água despejado após a saída do sólido da bacia sanitária.

Figura 2.3 Curva típica de descarga de bacia sanitária

Fonte: Adaptado pelo autor de Swaffield (2009)

Além do design da bacia sanitária, segundo McDougall (2007), a tubulação tem papel fundamental no cumprimento dos requisitos de desempenho do sistema. O impacto da seção transversal da tubulação é significativo no desempenho dos ramais pois, à medida que se diminuem os volumes de descarga, conseqüentemente, diminuem-se a altura da lâmina d'água, variável que pode ser responsável pelo transporte dos sólidos.

O fenômeno descrito anteriormente é explicado por Ron George (2009), da seguinte maneira:

- quando uma tubulação horizontal, ramal ou coletor, é dimensionada adequadamente, a altura da lâmina d'água deve corresponder à metade ou até dois terços do diâmetro da tubulação, permitindo que os sólidos permaneçam em suspensão durante seu transporte, conforme ilustrado na Figura 2.4;

Figura 2.4 – Corte longitudinal de um tubo com a formação de onda atrás do sólido

Fonte: Autor (2018)

- quando o tubo é superdimensionado ou quando a vazão de água utilizada não corresponde ao valor adotado durante o dimensionamento da tubulação, a altura da lâmina d'água se torna insuficiente, conforme ilustrado na Figura 2.5 e os resíduos sólidos podem não ser transportados corretamente, dificultando o escoamento de esgoto pela tubulação.

Figura 2.5 - Corte longitudinal de um tubo com altura de lâmina d'água insuficiente

Fonte: Autor (2018)

No Brasil, um estudo desenvolvido por Valencio e Gonçalves (2016) apresenta uma avaliação de desempenho em campo sobre a utilização de bacias sanitárias com volume de descarga de 4,8 L em relação às de 6 L. Os autores verificaram danos ao sistema de esgotamento sanitário após a instalação das bacias de menor volume de descarga. No entanto, não foi possível concluir se os danos foram decorrentes do baixo volume de descarga ou do projeto da bacia que não proporciona uma adequada onda para limpeza dos coletores.

Desse modo, a seção transversal da tubulação pode ter grande impacto no escoamento de ramais e coletores do sistema predial de esgoto sanitário, diminuindo sua influência no desempenho do sistema em função da distância percorrida pelo escoamento.

2.2 DIMENSIONAMENTO DE RAMAIS E COLETORES

O pico das vazões de descarga está relacionado principalmente com a simultaneidade de utilização dos aparelhos sanitários. De acordo com Oliveira (1991), além da simultaneidade de utilização, o dimensionamento do sistema predial de esgoto sanitário é função do regime de escoamento e ventilação para o controle das pressões pneumáticas no sistema.

O regime de escoamento nas tubulações horizontais é não permanente, em que a variável tempo depende da aleatoriedade de utilização dos aparelhos sanitários, dos perfis de descarga dos aparelhos sanitários e da atenuação de onda de qualquer descarga ao longo de uma tubulação horizontal. No tubo de queda, ocorre escoamento anelar e as pressões no interior do tubo variam de maneira desordenada. (OLIVEIRA, 1991).

Figura 2.6 - Corte longitudinal de uma configuração de transição entre escoamento vertical e horizontal

Fonte: Adaptado pelo autor de Oliveira (1991).

Na ilustração apresentada na Figura 2.6, estão representados nos diferentes trechos, vertical e horizontal da tubulação, o comportamento do fluido durante a transição do escoamento do tubo de queda para o coletor de esgoto.

No tubo de queda, seção A, o escoamento tem a forma de coroa circular, ou seja, o escoamento se dá de forma anelar pelas paredes da tubulação com a presença de ar em seu interior, a seguir, ocorre a transição para o escoamento horizontal, seção B. No trecho da seção C, o regime de escoamento é o supercrítico que se caracteriza pela velocidade da onda menor do que a velocidade média do escoamento, isto é, a onda propaga-se de montante para jusante sendo o escoamento controlado pelas condições a montante.

Na seção D, ocorre um ressalto hidráulico com consequente perda e dissipação da energia cinética, em sua maior parte, pelo turbilhonamento da água decorrente das condições de escoamento serem turbulentas (OLIVEIRA, 1991).

Em estudo conduzido por Swaffield *et al* (2000), o autor ao realizar ensaios utilizando o método das características para prever a velocidade de escoamento e profundidade em qualquer trecho do sistema em diferentes instantes procurou entre os parâmetros de escoamento o que melhor se correlacionava com a velocidade de transporte de sólidos. O autor percebeu que não necessariamente, a profundidade do escoamento se correlacionava com o transporte de sólidos, uma vez que vários fenômenos como ressalto hidráulicos poderiam ocorrer e mudar a forma de escoamento. Assim, o autor conclui ser possível correlacionar a velocidade dos sólidos no sistema com a velocidade de escoamento do fluido, sendo esta a variável que melhor correlacionava a velocidade de transporte dos sólidos e de forma mais precisa.

Importante destacar que as características de escoamento na rede predial de esgoto sanitário diferem-se muito das características da rede pública de coleta de esgotos sanitários. Enquanto na rede predial de coleta de esgotos o mecanismo de transporte é função principalmente da energia cinética da onda sendo diretamente proporcional a velocidade de escoamento da onda na tubulação, na rede pública onde as ondas já foram dissipadas, a tensão trativa dependente força da gravidade e do “peso” do fluido sobre os sólidos sendo a grandeza responsável pela autolimpeza da tubulação.

O atrito do fluido com as paredes da tubulação resulta em um esforço tangencial entre o líquido e a superfície molhada do tubo. Este esforço é definido pela NBR 9649 como o esforço tangencial unitário, transmitido as paredes do condutor pelo escoamento do líquido e é denominado de tensão trativa (ABNT, 1986).

A NBR 8160 (ABNT,1999) adota os critérios de dimensionamento propostos por Hunter (1940), cujo regime de escoamento é permanente, adotando-se os critérios empíricos por pesos para cada equipamento sanitário. No anexo B da NBR 8160 (ABNT, 1999), apresenta-se um método hidráulico, analítico, cuja função de probabilidade é a binomial, utilizada para a determinação do número de aparelhos utilizados simultaneamente, entretanto, o regime de escoamento adotado para esse método é o regime permanente.

Esse método proposto por Hunter, possui formulação matemática mais simples quando comparada as formulações resolvidas pelos métodos computacionais, entretanto, segundo Oliveira (1991), o modelo proposto por Hunter é falho nos limites admitidos na formulação, pois tanto os aparelhos de utilização bem como os padrões de utilização são sempre os mesmos. Consequentemente, a abordagem proposta por Hunter pode levar ao superdimensionamento dos ramais de esgoto, subcoletores e coletores prediais, muitas vezes comprometendo os requisitos de desempenho em relação ao critério de limpeza.

Para melhor compreensão do funcionamento e ainda para maior precisão de dimensionamento dos ramais e coletores do sistema predial de esgoto sanitário, Swaffield *et al.* (1989) desenvolveu um modelo chamado DRAINET que permitiu a previsibilidade do transporte de sólidos nas tubulações em diferentes situações. No Brasil, Oliveira (1991) conduziu estudo do escoamento em condutores horizontais de coleta de esgotos sanitários de edifícios residenciais. As equações diferenciais da quantidade de movimento e da continuidade que regem o escoamento em regime não permanente foram resolvidas pelo método das características utilizando programa computacional. A autora concluiu ser viável matematicamente a redução dos diâmetros dos ramais e coletores de esgoto sanitário em nível econômico e de desempenho.

Todavia, nos problemas de dimensionamento a consideração dos métodos probabilísticos avançados juntamente com a teoria do escoamento não permanente, não podem ser resolvidos de maneira fácil e eficiente sem auxílio de métodos computacionais.

Os métodos computacionais como *Computational Fluid Dynamics* - CFD que permitam a análise do comportamento não permanente dos escoamentos nos sistemas prediais de esgotamento sanitário com base no emprego de malhas de cálculo como, por exemplo, o método das características, método de diferenças finitas, método de volumes finitos, método de elementos finitos e etc., apresentam limitações na modelagem do escoamento não permanente com grande deformação da superfície livre no interior da tubulação (CHENG *et al.*, 2013).

Por esta razão, tendo em vista a limitação das abordagens analíticas para lidar com o escoamento complexo que ocorre em sistemas prediais de esgoto sanitário, torna-se imprescindível a avaliação do desempenho do sistema considerando o regime real, transitório, por meio de ensaios em escala real, além do pleno entendimento sobre os efeitos das reduções de vazões nos sistemas prediais de esgoto sanitário e a maneira que estes efeitos devem ser considerados nos dimensionamentos.

Neste contexto, a fim de permitir o pleno emprego das tecnologias economizadoras de água, foi desenvolvida esta pesquisa com intuito de avaliar o impacto da conservação de água no desempenho dos diâmetros das tubulações do sistema de esgoto sanitário. Também, foi avaliada a possibilidade de redução dos diâmetros de 100 mm para 75 mm e o volume de dados empíricos gerados durante esta pesquisa foi disponibilizado para o emprego em modelos matemáticos inovadores como o método de partículas *Moving Particle Semi-Implicit*, denominado método semi-implícito de partículas em movimento (MPS), que não utiliza malha de cálculo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados na Torre Hidráulica do Laboratório de Sistemas Prediais do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da USP.

A seguir, é apresentada a caracterização geral das etapas na Figura 3.1. Logo após, é feita a descrição detalhada de cada etapa que compõe a metodologia desta pesquisa.

Figura 3.1 – Caracterização geral das atividades

3.1 CONFIGURAÇÃO DO MODELO

A configuração típica proposta neste projeto de pesquisa é um sistema com dois pavimentos, representando um banheiro no pavimento superior e tendo em operação simultânea os seguintes aparelhos sanitários: uma bacia sanitária com caixa de descarga com volume nominal de 6 litros ou 4,8 litros, um chuveiro com vazão constante de 0,20 L/s e um lavatório com vazão constante de 0,15 L/s conforme ilustrado na Figura 3.2

Na primeira etapa, a bacia sanitária utilizada foi de VDN de 6 L, o conduto horizontal do segundo pavimento conectado diretamente a bacia sanitária, neste caso, o ramal de esgoto a jusante da bacia sanitária foi simulado com diâmetros de 100 mm e 75 mm e com as seguintes declividades: 0%, 1% e 2%. O diâmetro do ramal de esgoto, à jusante da caixa sifonada até a junção concêntrica simples, foi simulado com o diâmetro de 50 mm com declividade de 0% em todas as simulações. O diâmetro do tubo de queda foi simulado com os dois diâmetros: 100 mm e 75 mm. No pavimento inferior, o coletor de esgoto foi ensaiado com as declividades de 1%, 2% e 3% e os diâmetros de 100 mm e 75 mm.

Foram utilizadas em todas as tubulações e conexões, PVC transparente e as profundidades dos escoamentos em diferentes seções foram medidas por meio de sensores de elevação de líquidos capacitivos. Para o sistema de aquisição de dados, utilizou-se o QuantumX MX840B da HBM, que é um sistema universal de aquisição de dados de tamanho compacto de 8 canais com tecnologia Plug and Measure, agilizando a troca de configurações estudadas. O software utilizado para aquisição de dados foi o Catman da HBM. Esses dados numéricos que correlacionam altura da lâmina d'água, em milímetros, com o instante de tempo em segundos, a partir do início do ensaio, foram exportados para um software editor de planilhas para a organização das informações, geração de gráficos e extração da velocidade de escoamento da onda.

Para a extração da velocidade de escoamento da onda, adotou-se o seguinte procedimento: primeiro, elegeu-se o trecho entre os sensores S1 e S3, para o ramal

de esgoto e o trecho compreendido entre os sensores S2 e S3, para o coletor de esgoto como os trechos mais relevante para compreender o impacto das variações dos diferentes parâmetros sobre a velocidade de escoamento. Em seguida, com as informações da distância entre os sensores e do tempo transcorrido entre as marcações nos diferentes sensores, foi possível obter a velocidade média do trecho analisado.

O procedimento para tomada dos dados foi: 1º - Abertura da vazão do lavatório e chuveiro nos ensaios em que a vazão foi utilizada; 2º- acionamento do software Catman e início da gravação dos resultados com o disparo do cronômetro; 3º - Acionamento da bacia sanitária; 4º - Finalização da tomada de dados com encerramento do software Catman. Dada a dificuldade de se iniciar o acionamento da bacia sanitária exatamente no mesmo instante em todos os ensaios, optou-se por desconsiderar o instante de tempo de início do ensaio e posteriormente ajustando no tratamento dos dados o ponto de início e duração.

Com o objetivo de aproximar o experimento das dimensões dos banheiros de edifícios residenciais, o comprimento do ramal de esgoto da bacia sanitária e do ramal de esgoto, entre a caixa sifonada que recebe os efluentes do lavatório e do chuveiro e a junção concêntrica simples, foram considerados de 1 m, e a medida do coletor foi limitada em 3 m, com a saída conectada a um tubo de queda, simulando o lançamento em uma caixa de inspeção fechada, sem abertura atmosférica.

Na Figura 3.3 estão apresentadas as sessões investigadas. Os sensores de 1 a 6 no pavimento inferior fazem a medição das profundidades do escoamento logo após a mudança de direção do escoamento de vertical (tubo de queda) para horizontal (coletor), pois neste trecho há um ressalto hidráulico e, em seguida, a atenuação das ondas, questões importantes a serem estudadas.

No pavimento superior, o posicionamento dos sensores está indicado na Figura 3.3. Os sensores 1 e 2 fazem a medição das profundidades do escoamento no ramal de esgoto da bacia sanitária a montante da junção enquanto os sensores 3 e 4 fazem as medições a jusante desta junção. Os sensores 5 e 6 fazem a medição das profundidades do ramal de esgoto, a montante da junção concêntrica simples para

verificação da influência da junção no escoamento como, por exemplo, a formação de remanso a montante da junção no sentido da caixa sifonada

A razão da realização dos ensaios com declividade 0% foi em função de ser uma situação crítica para o escoamento, mas muitas vezes encontrada em banheiros residenciais, sobretudo em espaços confinados e restritos.

Figura 3.2 Configuração esquemática do modelo

Figura 3.3 Posicionamento dos sensores

O esquema da instalação dos sensores em planta, com respectivas distâncias em relação à bacia sanitária (S1 a S4) e, em relação à caixa sifonada, (S5 e S6), que coleta os efluentes do chuveiro com vazão de 0,20 L/s e do lavatório, com vazão de 0,15 L/s, estão ilustrados nas Figuras 3.4 (vista superior) para tubulação de 100 mm e Figura 3.5 (vista superior) para tubulação de 75 mm.

Figura 3.4 - Distâncias entre sensores na configuração utilizada nos ensaios no pavimento superior para tubulação de 100 mm

Figura 3.5 - Distâncias entre sensores na configuração utilizada nos ensaios no pavimento superior para tubulação de 75 mm

O posicionamento dos sensores foi escolhido de maneira a concentrar a tomada de dados nos pontos críticos para o escoamento. Os sensores S1, S3 e S5 foram colocados nas proximidades da junção simples concêntrica, pois neste trecho, devido a conexão de esgoto, há perda de carga que impacta no movimento das ondas de

descarga. Além disso, é o local de interferência entre o escoamento permanente do chuveiro e lavatório e o escoamento proveniente da bacia sanitária. Os sensores S2, S4 e S6 foram distribuídos de maneira a captar a extensão dos fenômenos hidráulicos como ressalto e remanso e cobrir as extensões da tubulação para monitoramento.

A seguir, na Figura 3.6 apresenta-se as fotos da configuração experimental em laboratório

Figura 3.6 – Configuração montada no laboratório de sistemas prediais. Vista lateral piso superior (a) e vista longitudinal de montante para jusante no piso superior (b)

(a)

(b)

Para o pavimento inferior, o esquema da instalação dos sensores, com respectivas distâncias em relação ao tubo de queda, (S1 a S6), está ilustrado na Figura 3.7 (vista superior) para diâmetro de 100 mm e Figura 3.8 (vista superior) para diâmetro de 75 mm

O posicionamento dos sensores foi realizado de maneira a concentrar a tomada de dados nos pontos críticos para o escoamento. Os sensores S1 e S2 foram instalados nas proximidades do tubo de queda, pois neste trecho, devido a mudança de direção do escoamento de vertical para horizontal ocorre fenômenos, como ressalto hidráulico, que mudam as profundidades do escoamento. Os sensores S3 a S6 foram distribuídos de maneira a captar na extensão do coletor o comportamento da curva de escoamento.

Figura 3.7 - Distâncias entre sensores na configuração utilizada nos ensaios no pavimento inferior para coletor com diâmetro de 100 mm

Figura 3.8 - Distâncias entre sensores na configuração utilizada nos ensaios no pavimento inferior para coletor com diâmetro de 75 mm

A seguir, na Figura 3.9 apresenta-se as fotos da configuração experimental em laboratório

Figura 3.9 – Configuração montada para monitorar o escoamento do coletor de esgoto no pavimento inferior (a), (b)

(a)

(b)

3.1.1 Ensaios normativos

Por meio de incentivos e metas estabelecidas por órgãos governamentais, tais como as diretrizes do Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP- H), as bacias sanitárias vêm sofrendo notável evolução qualitativa em relação aos critérios de desempenho.

Por existir no mercado, fabricantes que produzem louças sanitárias fora de conformidade em relação aos requisitos de desempenho estabelecidos pelas normas técnicas, submeteu-se as bacias sanitárias utilizadas nesta pesquisa aos ensaios descritos na NBR 15097 (ABNT, 2011) com objetivo de calibrar todo o modelo e garantir que os requisitos mínimos estivessem atendidos para critérios comparativos.

3.2 MATERIAIS E CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS SANITÁRIAS

A seguir, são apresentadas as características para as bacias sanitárias ensaiadas e, também, os equipamentos utilizados na aferição da amostra.

3.2.1 Características da amostra VDN 6 L

A bacia sanitária utilizada nesse ensaio foi adquirida no mercado para que as características de funcionamento sejam compatíveis com as características das bacias sanitárias das quais a população tem acesso.

A bacia sanitária foi ajustada de acordo com as informações contidas no manual de instruções. A seguir, apresenta-se as características dessa amostra.

Altura do fecho hídrico: 54 mm

Volume de descarga (nominal): 6 L

Durante a coleta de dados laboratoriais, foi possível obter-se a curva característica de descarga da bacia sanitária que correlaciona volume e vazão no tempo, cujo gráfico é apresentado na Figura 3.10 a seguir.

Figura 3.10 Curva Característica de descarga bacia sanitária VDN 6 L

3.2.2 Características da amostra VDN 4,8 L

A bacia sanitária foi ajustada de acordo com as informações contidas no manual de instruções. A seguir, apresenta-se as características dessa amostra.

Altura do fecho hídrico: 55 mm

Volume de descarga (nominal): 4,8 L

Do mesmo modo que para a bacia de VDN 6 L, durante a coleta de dados laboratoriais, foi possível obter-se a curva característica de descarga da bacia sanitária VDN 4,8 L que correlaciona volume e vazão no tempo, cujo gráfico é apresentado na Figura 3.11 a seguir.

Figura 3.11 Curva Característica de descarga bacia sanitária VDN 4,8 L

3.2.3 Equipamentos utilizados

Foram utilizados na pesquisa instrumentos de medição para aferição das dimensões da bacia sanitária e das características da amostra como fecho hídrico e volume de descarga. Os equipamentos utilizados foram: balança, cronômetro, régua “L”, trena e paquímetro. Além disso, a realização dos ensaios foi realizada em uma bancada

laboratorial cujos equipamentos fixos a bancada são: Medidores de vazão, manômetros, bomba hidráulica, balança, termômetro e reservatório de água, conforme especificações da NBR 15097 (ABNT, 2011). Para simulação do ramal de esgoto, a jusante da bacia sanitária há um tubo cuja extensão é de 18 m, diâmetro de 100 mm e declividade de 1% a seguir, apresenta-se na Figura 3.12 o detalhamento da configuração da bancada.

Figura 3.12 – Detalhamento das instalações laboratoriais para ensaio de caracterização

Fonte: Valêncio (2017)

Pressões de serviço: 30 ± 3 a 400 ± 40 kPa.

Mt 02 - 0 kPa a 60 kPa, precisão de 0,25 kPa.

Mt 03 - 0 kPa a 1000 kPa, precisão de 10 kPa.

C2 – 0 L/s a 3,0 L/s, precisão de 0,0005 L/s.

Balança: Capacidade 60kg, precisão de 5g.

Observa-se um intervalo de tempo no qual o obturador da bacia sanitária permanece aberto durante o acionamento da descarga no qual, a vazão entrante de enchimento

contribui para o volume de água consumido na descarga. Este volume é maior quando o conjunto está submetido as maiores pressões.

Os ensaios foram realizados na condição mais desfavorável, ou seja, alta ou baixa pressão, conforme apresentado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Condições de ensaio bacia sanitária de VDN 6 L e 4,8 L

REQUISITO	PRESSÃO DE ENSAIO (ESTÁTICA)
Volume de água consumido por descarga	30 kPa e 400 kPa
Respingos de água	400 kPa
Reposição do fecho hídrico	400 kPa
Remoção de mídia composta	30 kPa
Remoção de grânulos	30 kPa
Transporte de sólidos	30 kPa
Remoção de esferas	30 kPa
Lavagem de parede	30 kPa

3.4 MÉTODO DE ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO PARA AS BACIAS SANITÁRIAS VDN 6 L E VDN 4,8 L

Os ensaios realizados nesta etapa da pesquisa foram executados conforme a NBR 15097 (ABNT, 2011) com o objetivo de verificar se as bacias sanitárias atendiam os requisitos mínimos de desempenho para calibração do modelo de ensaios.

Seguindo a norma NBR 15097 (ABNT, 2011), foram realizados os ensaios referentes aos parâmetros de avaliação de desempenho para a bacia sanitária com volume de descarga nominal de 6 L.

No Brasil, a NBR 15097 (ABNT, 2011) foi baseada na ASME A112.19.2 de 2003 e não trata especificamente dos parâmetros de ensaio referentes a bacia sanitária com volume de descarga inferior a 5 L. A revisão da ASME A112.19.2 de 2013 incluiu os ensaios de remoção de pasta de soja para caracterização das bacias sanitárias com VDN 4,8 L.

Neste trabalho, a caracterização das bacias sanitárias com VDN 4,8 L foi feita com base na NBR 15097 (ABNT,2011), porém considerou-se o limite do volume de água consumido por descarga de $4,8 + 0,4$ L, conforme especificações do *EPA WaterSense – Specification for Tank Type Toilets – Version 1.2 – 2014*. O documento considera o intervalo superior a 5,2 L como suficiente para reprovação da amostra. No caso de o volume de água consumido por descarga ser maior que 4,8 L e menor ou igual a 5,2 L, a bacia deve ser ajustada, se possível, para 4,8 L e os testes executados. Para volumes inferiores a 4,8 L, os testes são executados e o volume de água consumido por descarga é anotado.

A seguir apresenta-se os ensaios de caracterização:

3.4.1 Volume de água consumido por descarga

Verifica o volume consumido por descarga por meio da medição do volume de água armazenado na caixa acoplada da bacia sanitária quando o escoamento principal estiver completo. Este ensaio tem por objetivo verificar se a bacia se enquadra nos limites da norma que está compreendido entre 5,8 e 7,1 litros para as bacias com VDN 6 L.

3.4.2 Altura do fecho hídrico

Verifica se o fecho hídrico no sifão da bacia sanitária possui altura mínima de 50 ± 1 mm. Este ensaio é utilizado para verificar a não ocorrência de autosifonagem permitindo o retorno dos gases provenientes da rede de esgoto sanitário para o ambiente.

3.4.3 Reposição do fecho hídrico

Verifica, após no máximo 5 minutos depois de finalizada a descarga, se houve reposição do fecho hídrico, que deve possuir altura mínima de 50 ± 1 mm. Este ensaio é utilizado para verificar a não ocorrência de autosifonagem permitindo o retorno dos gases provenientes da rede de esgoto sanitário para o ambiente.

3.4.4 Remoção de esferas

Verifica se houve remoção de no mínimo 80 dentre 100 esferas de $19 \pm 0,3$ mm de diâmetro após o acionamento da descarga. Estas devem ser fabricadas de polipropileno ou outro material plástico que não absorva ou reaja com a água. Este ensaio visa garantir a capacidade da bacia sanitária em remover os dejetos quando em operação.

3.4.5 Transporte de sólidos (esferas)

Verifica a distância média transportada por esfera num ramal de esgoto com DN 100, 18 m de comprimento e 1% de declividade. O ensaio de transporte de sólidos verifica se a bacia sanitária imprime energia necessária aos sólidos para limpeza dos condutores horizontais.

3.4.6 Lavagem de parede (linha de tinta)

Observa-se a lavagem da parede verificando, após o acionamento da descarga, o comprimento das linhas formadas com a tinta de uma linha traçada (com uma caneta de ponta porosa) em toda a superfície da bacia sanitária. Com este ensaio verifica a ocorrência de depósitos sobre a superfície da bacia, o que poderia ocasionar problemas de saúde.

3.4.7 Remoção de grânulos

Após a colocação de 100 cm^3 de grânulos de polietileno de alta densidade e 100 esferas de náilon de $6 \pm 0,25$ mm de diâmetro no poço da bacia, o teste analisa o número de grânulos e esferas que ficam visíveis após o acionamento da descarga. O ensaio de remoção de grânulos é o segundo de três ensaios que tem por objetivo verificar a capacidade da bacia sanitária em remover os dejetos quando em operação.

3.4.8 Respingos de água

Identificam-se os respingos de água formados após o acionamento da descarga sob uma placa de acrílico transparente apoiada sobre a argola da bacia. A média do número de respingos com diâmetro (ou outra dimensão preponderante) igual ou maior que 5 mm, que sobem acima do plano de transbordamento da bacia deve ser no máximo 8. O objetivo é garantir que não haja contaminação do ambiente com a água contaminada.

3.4.9 Remoção de mídia composta

Verifica o número de mídias (folhas “*kraft anti-tarnish*” com dimensões de 19,05 cm x 15,24 cm e esponjas sintéticas de poliuretano com 20 mm x 20 mm x 28,5 mm e densidade de 17 kg/m³) removidas da bacia após a descarga. Por fim, o ensaio de remoção de mídia composta é o terceiro ensaio cujo objetivo é garantir a remoção dos dejetos da bacia sanitária em sua operação.

4 CARACTERIZAÇÃO LABORATORIAL DAS BACIAS SANITÁRIAS

Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios realizados nas bacias sanitárias de VDN 6 L, de acordo com a NBR 15097 (ABNT, 2011) e VDN 4,8 L cujos ensaios, exceto o de volume de água consumido por descarga, obedeceram também aos requisitos da NBR 15097 (ABNT, 2011).

Em seguida, são apresentados os resultados dos ensaios realizados no sistema da configuração apresentada na Figura 3.2 do capítulo 3.

4.1 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS BACIAS SANITÁRIAS VDN 6 L E VDN 4,8 L

4.1.1 Volume de água consumido por descarga

A bacia sanitária foi instalada na bancada e regulada de acordo com as instruções fornecidas pelo fabricante. A água proveniente do acionamento da descarga foi armazenada em um recipiente plástico apoiado sobre uma balança, conforme a Figura 4.1 (a). Verificou-se o peso da água no indicador da balança, conforme ilustrado na Figura 4.1 (b). Por relações de densidade, foi obtido o valor do volume de água consumido por descarga.

Figura 4.1 – Recipiente plástico sobre balança (a) indicador digital da balança (b).

(a)

(b)

Os resultados do ensaio de volume de água consumido por descarga para a bacia sanitária com VDN de 6 L realizados nas pressões de ensaio de 30 kPa e 400 kPa estão apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Volume de água consumido por descarga para a bacia sanitária de VDN 6 L

Pressão de ensaio	Repetição	Volume de descarga (L)			
		Total	Média	Limite inferior	Limite superior
30 kPa	1	6,19	6,26	5,80	7,10
	2	6,27			
	3	6,32			
400 kPa	1	6,12	6,18	5,80	7,10
	2	6,25			
	3	6,19			

Esse ensaio mostrou que o volume de água consumido por descarga se encontra entre os limites estabelecidos pela NBR15097 (ABNT, 2011), que são 5,8 L (limite inferior) e 7,1 L (limite superior) para as pressões de ensaio de 30 kPa e de 400 kPa.

Os resultados dos volumes de água consumido por descarga para a bacia sanitária com VD de 4,8 L estão apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Volume de água consumido por descarga para a bacia sanitária de VDN 4,8 L

Pressão de ensaio	Repetição	Volume de descarga (L)			
		Total	Média	Limite inferior	Limite superior
30 kPa	1	4,91	4,87	-	5,2
	2	4,81			
	3	4,90			
400 kPa	1	5,03	4,98	-	5,2
	2	4,96			
	3	4,95			

Esse ensaio mostrou que o volume de água consumido por descarga se encontra dentro do limite de 5,2 L (limite superior) para as pressões de ensaio de 30 kPa e de 400 kPa.

4.1.2 Respingos de água

Foi apoiada uma placa de acrílico sobre 4 calços que simulavam a altura do assento da bacia nas condições de uso, (10 mm) conforme Figura 4.2. Acionada a descarga foi verificada a média do número de respingos, com diâmetro (ou outra dimensão preponderante) igual ou maior que 5,0 mm, que subiram acima do plano de transbordamento, que segundo a NBR 15097 (ABNT, 2011), não devem ultrapassar 8 na média das 3 repetições. Os resultados para bacia sanitária VDN 6 L estão ilustrados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Respingos de água para bacia sanitária de VDN 6L

Repetição	Nº respingos com $\varnothing \geq 5$ mm	Volume de descarga (L)
1	6	6,22
2	4	6,10
3	0	6,29
Média	3,33	

Para as três repetições no ensaio de respingos de água, o número de respingos maiores que 5 mm foi igual a seis, ocorrido na primeira repetição. O volume de descarga foi medido para se ter certeza que não houve nenhuma alteração no decorrer do ensaio.

Figura 4.2 – Placa de acrílico sobre calços simulando a altura do assento da bacia nas condições de uso (a). Respingos de água que subiram acima do plano de transbordamento (b).

(a)

(b)

A seguir, na Tabela 4.4 são apresentados os resultados do ensaio para bacia de VDN 4,8 L

Tabela 4.4 – Respingos de água para a bacia sanitária de VDN 4,8 L

Repetição	Nº respingos com $\varnothing \geq 5$ mm	Volume de descarga (L)
1	0	4,99
2	0	4,90
3	0	4,94
Média	0	

Para as três repetições no ensaio de respingos de água, o número de respingos maiores que 5 mm foi igual a zero. O volume de descarga foi medido para se ter certeza que não houve nenhuma alteração no decorrer do ensaio.

4.1.3 Altura do fecho hídrico

Em 3 medições, verificou-se o fecho hídrico do sifão da bacia sanitária possui altura mínima de 50 ± 1 mm com o auxílio de uma régua “L”. Os resultados estão ilustrados na Tabela 4.5 para bacia VDN 6 L e na Tabela 4,6 para bacia VDN 4,8 L..

Tabela 4.5 – Altura do fecho hídrico para bacia sanitária de VDN 6 L

Repetição	Altura do fecho hídrico (mm)
1	57
2	58
3	57

Nas três repetições foi, a altura do fecho hídrico foi superior a 50 mm, satisfazendo a NBR 15097 (ABNT, 2011).

Tabela 4.6 – Altura do fecho hídrico para a bacia sanitária de VDN 4,8 L

Repetição	Altura do fecho hídrico (mm)
1	55
2	56
3	56

Nas três repetições foi, a altura do fecho hídrico foi superior a 55 mm, satisfazendo o mínimo de 50 mm NBR 15097 (ABNT, 2011).

4.1.4 Reposição do fecho hídrico

Verificou-se, no máximo 5 minutos depois de finalizada a descarga, a reposição do fecho hídrico, que deve ter altura mínima de 50 ± 1 mm. Os resultados para bacia sanitária VDN 6 L estão ilustrados na Tabela 4.7 enquanto para bacia sanitária VDN 4,8 L estão ilustrados na Tabela 4,8.

Tabela 4.7 – Reposição do fecho hídrico para bacia sanitária de VDN 6 L

Repetição	Altura do fecho hídrico (mm)		Volume de descarga (L)
	Inicial	Final	
1	57	57	6,20
2	58	58	6,13
3	57	57	6,23

Nas três repetições houve total reposição do fecho hídrico e os volumes de descarga não se alteraram além dos limites estabelecidos pela NBR 15097 (ABNT, 2011).

Tabela 4.8 – Reposição do fecho hídrico para a bacia sanitária de VDN 4,8 L

Repetição	Altura do fecho hídrico (mm)		Volume de descarga (L)
	Inicial	Final	
1	55	57	4,99
2	57	57	4,90
3	57	57	4,94

Nas três repetições houve total reposição do fecho hídrico e os volumes de descarga não se alteraram além 4,8 + 0,4 L.

4.1.5 Lavagem de parede da bacia sanitária

Foi traçada uma linha com uma caneta de ponta porosa, Figura 4.3 (a), ao longo de todo o perímetro da parede da bacia sanitária conforme ilustrado na Figura 4.3 (b). Após traçada a linha, verificou-se a lavagem da parede após o acionamento da descarga, observando o comprimento remanescente das linhas formadas com a tinta da linha traçada.

Figura 4.3 – Caneta de ponta porosa e gabarito para manter a distância (a), Linha sendo traçada na superfície da bacia (b).

(a)

(b)

Os resultados estão apresentados na Tabela 4.9 para bacia sanitária VDN 6 L e na Tabela 4.10 para Bacia Sanitária VDN 4,8 L.

Tabela 4.9 – Lavagem de parede para bacia sanitária de VDN 6 L

Repetição	Medida de cada segmento individual (mm)	Medida total dos segmentos	Medida do maior segmento individual (mm)	Número de segmentos	Volume de descarga (L)
1	0	0	0	0	6,24
2	0	0	0	0	6,22
3	0	0	0	0	6,31
Média		0			

Para as três repetições houve lavagem completa da parede da bacia sanitária com total remoção da linha traçada com caneta porosa. O volume de descarga permaneceu entre os limites estabelecidos pela NBR 15097 (ABNT, 2011).

Tabela 4.10 – Lavagem de parede para a bacia sanitária de VDN 4,8 L

Repetição	Medida de cada segmento individual (mm)	Medida total dos segmentos	Medida do maior segmento individual (mm)	Número de segmentos	Volume de descarga (L)
1	3	3	3	1	4,89
2	13	12	13	1	4,88
3	0	0	0	0	4,95
Média		5,3			

A média das somas dos comprimentos dos segmentos remanescentes deve ser, no máximo, 50 mm e a medida do maior segmento individual deve ser de, no máximo, 13 mm como condição de aceitação. A bacia sanitária atendeu as condições de aceitação e o volume de descarga permaneceu entre o limite de $4,8 \pm 0,4$ L.

4.1.6 Remoção de esferas

Verificou-se que, no mínimo, 80 dentre 100 esferas de $19 \pm 0,3$ mm de diâmetro foram removidas após o acionamento da descarga. Essas esferas são fabricadas de polipropileno e não absorvem ou reagem com a água, sendo dispostas em um gabarito de 100 unidades, o que facilita a contagem durante a realização do ensaio, conforme ilustrado na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Esferas de polipropileno em gabarito de 100 unidades que facilita contagem durante a realização do ensaio (a); Esferas de polipropileno no poço da bacia sanitária (b).

(a)

(b)

Os resultados do ensaio de remoção de esferas após o acionamento da descarga estão ilustrados na Tabela 4.11 para bacia sanitária VDN 6 L e na Tabela 4.12 para bacia sanitária VDN 4,8 L.

Tabela 4.11 – Remoção de esferas após o acionamento da descarga em bacia sanitária de VDN 6 L

Repetição	Número de esferas de polipropileno			Volume de descarga (L)
	Removidas	No poço	No sifão	
1	96	0	4	6,16
2	99	0	1	6,05
3	95	0	5	6,00

Embora nos três ensaios a bacia sanitária tenha se mostrado incapaz de remover a totalidade das esferas, restando esferas no sifão, o resultado foi satisfatório pois se enquadrou dentro do intervalo mínimo de média entre as 3 repetições maior que 80 esferas removidas, conforme NBR15097 (ABNT, 2011).

Tabela 4.12 – Remoção de esferas após o acionamento da descarga para a bacia sanitária de VDN 4,8 L

Repetição	Número de esferas de polipropileno			Volume de descarga (L)
	Removidas	No poço	No sifão	
1	100	0	0	4,81
2	100	0	0	4,89
3	99	1	0	4,87

O resultado foi satisfatório pois se enquadrou dentro do intervalo mínimo de 80 esferas removidas na média das 3 repetições, recomendado pela NBR 15097 (ABNT, 2011). Apenas em uma das repetições, uma esfera restou no poço, atendendo aos critérios de aceitação da amostra.

4.1.7 Remoção de mídia composta

Neste ensaio verificou-se o número de mídias (folhas “*kraft anti-tarnish*” com dimensões de 19,05 cm x 15,24 cm e esponjas sintéticas de poliuretano com 20 mm x 20 mm x 28,5 mm e densidade de 17 kg/m³) removidas da bacia sanitária após o acionamento da descarga. A Figura 4.5 ilustra o ensaio com esponjas de poliuretano e papel Kraft dispostos no poço da bacia sanitária.

Figura 4.5 – Folha de papel Kraft e esponjas de poliuretano dispostos no poço da bacia sanitária (a);.(b).

Os resultados do ensaio de remoção de mídia composta estão ilustrados Tabela 4.13 para bacia VDN 6 L e na Tabela 4.14 para VDN 4,8 L.

Tabela 4.13 – Remoção de mídia composta de bacia sanitária de VDN 6 L

Repetição	Número de mídias (esponjas + papel)				Entupi- mento (sim/não)	Volume na 1ª descarga (L)	Volume na 2ª descarga (L)
	Remov idas	No poço	No sifão	Removidas na 2ª descarga			
1	28	0	0	-	Não	6,30	-
2	28	0	0	-	Não	6,32	-
3	28	0	0	-	Não	6,32	-
4	-	-	-	-	-	-	-
Média (3 melhores)	28	Pior repetição: -					

Para esse ensaio, segundo recomendado pela NBR 15097 (ABNT, 2011), a média do número de mídias removidas na primeira descarga deve ser superior a 22 e todas as mídias não removidas na primeira descarga, devem ser removidas na segunda descarga. A pior repetição deve ser descartada. O resultado do ensaio foi satisfatório, pois todas as mídias foram removidas na primeira descarga.

Tabela 4.14 – Remoção de mídia composta para a bacia sanitária de VDN 4,8 L

Repetição	Número de mídias (esponjas + papel)				Entupimento (sim/não)	Volume na 1ª descarga (L)	Volume na 2ª descarga (L)
	Removidas	No poço	No sifão	Removidas na 2ª descarga			
1	27	1	0	1	Não	4,93	4,86
2	25	3	0	3	Não	4,93	4,87
3	28	0	0	-	Não	4,90	-
4	28	0	0	-	Não	4,98	-
Média (3 melhores)	27,67	Pior repetição: 2					

Para esse ensaio, segundo recomendado pela NBR 15097 (ABNT, 2011), a média do número de mídias removidas na primeira descarga deve ser no mínimo 22 e todas as mídias não removidas na primeira descarga, devem ser removidas na segunda descarga. A pior repetição deve ser descartada. O resultado do ensaio foi satisfatório, pois a média das mídias removidas foi maior que 22.

4.1.8 Remoção de grânulos

Este teste consistiu na colocação de 100 cm³ de grânulos de polietileno de alta densidade e 100 esferas de náilon de 6 ± 0,25 mm de diâmetro no poço da bacia sanitária, e na verificação do número de grânulos e esferas que ficaram visíveis após o acionamento da descarga. Na Figura 4.6 (a) e (b) estão dispostas as esferas de náilon e grãos de polietileno no poço da bacia sanitária.

Figura 4.6 – Esferas de náilon e grânulos de polietileno no poço da bacia sanitária (a) e (b)

(a)

(b)

Os resultados do ensaio de remoção de grânulos de bacia com VDN de 6 L estão ilustrados na Tabela 4.15, para bacia com VDN 4,8 L, os resultados estão dispostos na Tabela 4.16.

Tabela 4.15 – Remoção de grânulos de bacia sanitária de VDN 6 L

Repetição	Número de grânulos visíveis no poço	Número de esferas visíveis no poço	Volume de Descarga (L)
1	25	0	6,11
2	11	0	6,19
3	8	0	6,10
Média	14,66	0	6,13

Neste ensaio foi observada a total remoção de esferas do poço e a permanência de uma quantidade de grânulos visíveis no poço dentro dos intervalos previstos na NBR 15097 (ABNT, 2011) de 5%, máximo 125 grânulos.

Tabela 4.16 – Remoção de grânulos para a bacia sanitária de VDN 4,8 L

Repetição	Número de grânulos visíveis no poço	Número de esferas visíveis no poço	Volume de descarga (L)
1	8	0	4,94
2	17	0	4,92
3	3	0	4,83
Média	9,3	0	4,90

Neste ensaio foi observada a total remoção de esferas do poço e a permanência de uma quantidade de grânulos visíveis no poço dentro do limite máximo de 125 grânulos visíveis, correspondente a 5% aproximadamente da quantidade total, conforme previsto na NBR15097 (ABNT, 2011).

4.1.9 Transporte de sólidos

Neste ensaio verificou-se a distância média de cada esfera transportada num ramal de esgoto com DN 100, 18 m de comprimento e 1% de declividade. Na Figura 4.7 está ilustrado o ramal de esgoto pelo ponto mais distante da localização da bacia sanitária.

Figura 4.7 – Ramal de esgoto com DN 100, 18 m de comprimento e 1% de declividade

Os resultados do ensaio de transporte de sólidos para bacia sanitária VDN 6 L estão apresentados nas Tabelas 4.17 a 4.19.

Tabela 4.17 – Transporte de sólidos da bacia sanitária de VDN 6 L – 1ª repetição

Distância transportada (m)	Média da faixa (m)	Quantidade de esferas transportadas	Distância transportada ponderada por faixa (m)
Na bacia	0	2	0
0 a 3	1,5	4	6,0
3 a 6	4,5	7	31,5
6 a 9	7,5	10	75,0
9 a 12	10,5	0	0
12 a 15	13,5	10	135
15 a 18	16,5	0	0
Fora	18,0	67	1206
Distância total ponderada			1453,5
Distância média transportada por esfera (distância total ponderada) /100			14,5

Tabela 4.18 – Transporte de sólidos da bacia sanitária de VDN 6 L – 2ª repetição

Distância transportada (m)	Média da faixa (m)	Quantidade de esferas transportadas	Distância transportada ponderada por faixa (m)
Na bacia	0	3	0
0 a 3	1,5	1	1,5
3 a 6	4,5	10	45
6 a 9	7,5	0	0
9 a 12	10,5	0	0
12 a 15	13,5	0	0
15 a 18	16,5	15	247,5
Fora	18,0	71	1278
Distância total ponderada			1572
Distância média transportada por esfera (distância total ponderada) /100			15,7

Tabela 4.19 – Transporte de sólidos da bacia sanitária de VDN 6L – 3ª repetição

Distância transportada (m)	Média da faixa (m)	Quantidade de esferas transportadas	Distância transportada ponderada por faixa (m)
Na bacia	0	8	0
0 a 3	1,5	3	4,5
3 a 6	4,5	11	49,5
6 a 9	7,5	3	22,5
9 a 12	10,5	6	63
12 a 15	13,5	0	0
15 a 18	16,5	0	0
Fora	18,0	69	1242
Distância total ponderada			1453,5
Distância média transportada por esfera (distância total ponderada) /100			13,8

Neste ensaio, o centro de massa das esferas calculado pela média ponderada da quantidade de esferas multiplicada pela distância média da faixa deve ser maior que 10 m.

De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 4.17 a 4.19, a bacia está aprovada no ensaio de transporte de sólidos, pois a distância média percorrida por esfera ao longo do ramal de esgoto nas 3 repetições foi superior a distância de 10m.

A seguir, são apresentados os resultados do ensaio de transporte de sólidos para bacia sanitária VDN 4,8 L nas Tabelas 4.20 a 4.22.

Tabela 4.20 – Transporte de sólidos da bacia sanitária com VDN de 4,8 L – 1ª repetição

Distância transportada (m)	Média da faixa (m)	Quantidade de esferas transportadas	Distância transportada ponderada por faixa (m)
Na bacia	0	0	0
0 a 3	1,5	0	0
3 a 6	4,5	0	0
6 a 9	7,5	0	0
9 a 12	10,5	18	189
12 a 15	13,5	42	567
15 a 18	16,5	16	264
Fora	18,0	24	432
Distância total ponderada			1452
Distância média transportada por esfera (distância total ponderada) /100			14,52

Tabela 4.21 – Transporte de sólidos da bacia sanitária com VDN de 4,8 L – 2ª repetição

Distância transportada (m)	Média da faixa (m)	Quantidade de esferas transportadas	Distância transportada ponderada por faixa (m)
Na bacia	0	0	0
0 a 3	1,5	0	0
3 a 6	4,5	2	9
6 a 9	7,5	5	37,5
9 a 12	10,5	8	84
12 a 15	13,5	8	108
15 a 18	16,5	41	676,5
Fora	18,0	36	648
Distância total ponderada			1563
Distância média transportada por esfera (distância total ponderada) /100			15,63

Tabela 4.22 – Transporte de sólidos da bacia sanitária com VDN de 4,8L – 3ª repetição

Distância transportada (m)	Média da faixa (m)	Quantidade de esferas transportadas	Distância transportada ponderada por faixa (m)
Na bacia	0	0	0
0 a 3	1,5	0	0
3 a 6	4,5	0	0
6 a 9	7,5	7	52,5
9 a 12	10,5	5	52,5
12 a 15	13,5	16	216
15 a 18	16,5	42	693
Fora	18,0	30	540
Distância total ponderada			1554
Distância média transportada por esfera (distância total ponderada) /100			15,54

De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 4.20 a 4.22, a bacia está aprovada no ensaio de transporte de sólidos, pois a distância média percorrida por esfera ao longo do ramal de esgoto nas 3 repetições foi superior a distância de 10 m.

4.1.10 Análise dos resultados

Conforme os resultados apresentados anteriormente, as amostras das bacias sanitárias foram aprovadas em todos os ensaios. Isto significa que estas bacias sanitárias atendem aos critérios de desempenho estabelecidos na NBR 15097 (ABNT, 2011) e podem ser comercializadas e utilizadas no território nacional. Assim, garantiu-se que as bacias utilizadas em toda a pesquisa cumprem os requisitos de desempenho estabelecidos pela norma NBR 15097 (ABNT, 2011).

5 ANÁLISE DO ESCOAMENTO EM RAMAIS E COLETORES DE ESGOTO SANITÁRIO

Apresenta-se, neste capítulo, a análise do escoamento proveniente de ensaios realizados, em escala real, de modo a simular as condições encontradas em edificações unifamiliares de 2 pavimentos com o banheiro instalado no pavimento superior, onde muitas vezes são encontradas situações críticas como espaços muito restritos e baixas declividades.

Neste capítulo é utilizado o termo ramal de esgoto do ralo sifonado para se referir ao trecho do ramal a jusante do ralo sifonado e montante da junção concêntrica simples. Toda vez que for empregado o termo ramal de esgoto somente, este refere-se ao trecho a jusante da bacia sanitária.

Após a análise dos dados procurou-se explicar ou correlacionar o comportamento do escoamento, todavia, dada a imprevisibilidade do escoamento, nem sempre foi possível fazer alguma correlação.

5.1 ANÁLISE DO ESCOAMENTO NAS SEÇÕES DOS RAMAIS DE ESGOTO

Neste item são analisadas todas as seções do ramal de esgoto, quais sejam: S1, S2, S3 e S4 e as seções do ramal de esgoto do ralo sifonado, S5 e S6. Ressalta-se que as seções S1 e S2 recebem somente a descarga da bacia sanitária, as seções S5 e S6 recebem somente as contribuições do chuveiro e do lavatório e as seções S3 e S4 recebem as descargas de todos os aparelhos sanitários.

5.1.1 Ensaios no ramal de esgoto com diâmetro de 100 mm

Nos gráficos das Figuras 5.1 a 5.3, as condições de ensaio foram: bacia sanitária com volume de descarga nominal de 6 L, ramal de esgoto com diâmetro de 100 mm, variação das declividades em 0%, 1% e 2%, ramal de esgoto entre ralo sifonado e junção concêntrica com diâmetro de 50 mm, declividade de 0% em todos os ensaios e ausência de vazões de chuveiro e lavatório

Na Tabela 5.1 a seguir são apresentados o resumo dos ensaios para melhor entendimento dos resultados em diferentes montagens dos ensaios.

Tabela 5.1 – Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 100 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, ausência de vazão em regime permanente e variação da declividade em 0%, 1% e 2% no pavimento superior.

Figura	Diâmetro da tubulação	Volume de descarga da BS	Declividade	Vazão em regime permanente 0,35 L/s	Velocidade média entre S1 e S3 (m/s)
5.1	100 mm	6 L	0%	Não	0,71
5.2	100 mm	6 L	1%	Não	0,51
5.3	100 mm	6 L	2%	Não	0,83

Na Figura 5.1 estão apresentados os gráficos que correspondem a altura da lâmina d'água nas seis seções monitoradas, na situação de uso somente da bacia sanitária e declividade de 0% no ramal de esgoto entre o ralo sifonado e junção concêntrica.

Como não há escoamento no ramal de esgoto proveniente do chuveiro e lavatório, nota-se que os sensores das seções 5 e 6 permanecem sem elevação de altura da lâmina d'água até o instante 4,5 s, quando o sensor S5 acusa uma elevação da altura da lâmina d'água devido ao remanso hidráulico que retorna pelo ramal de esgoto em direção ao ralo sifonado. A altura de pico da lâmina d'água ocorreu no sensor S4, próximo ao tubo de queda. O fenômeno pode ser explicado porque a energia cinética a montante desta seção é muito maior do que no ponto que é o local onde há a maior dissipação acumulada de energia por ser o ponto mais distante da bacia sanitária e próxima ao tubo de queda. Assim, ocorre o incremento das ondas a montante nesta seção.

Figura 5.1 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 0% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm

No gráfico da Figura 5.2, é apresentado o resultado da variação da declividade do ramal de esgoto, mantidas constantes as outras variáveis. Observa-se uma pequena diminuição na altura de pico da lâmina d'água e a não formação do remanso hidráulico no ramal de esgoto em direção ao ralo sifonado

Figura 5.2 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm

Na Figura 5.3, os gráficos representam a variação da declividade do ramal de esgoto para 2% mantendo-se todos os outros parâmetros constantes. Nota-se de maneira evidente o alargamento da base da curva de escoamento no tempo, com consequente diminuição do pico em relação a declividade nula, observada na Figura 5.1. Esse fenômeno é resultante da maior velocidade da água na tubulação.

Figura 5.3 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm

Durante os ensaios cujos resultados são apresentados nos gráficos da Figura 5.4 a 5.6, a declividade foi variada em 0%, 1% e 2% para o ramal de esgoto da bacia sanitária e mantida constante em 0%, para o ramal de esgoto do ralo sifonado em todas as repetições. Houve contribuição da vazão de 0,35 L/s no ramal de esgoto da caixa sifonada para simular a utilização simultânea de chuveiro e lavatório. O diâmetro do ramal de esgoto da bacia sanitária foi 100 mm e o volume de descarga nominal de 6 L da bacia sanitária.

Na Tabela 5.2, a seguir, é apresentado o resumo dos ensaios para o melhor entendimento das diferentes montagens dos ensaios.

Tabela 5.2 – Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 100 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, presença de vazão em regime permanente no valor de 0,35L/s e variação da declividade em 0%, 1% e 2% no pavimento superior.

Figura	Diâmetro da tubulação	Volume de descarga da BS	Declividade	Vazão em regime permanente 0,35 L/s	Velocidade média entre S1 e S3 (m/s)
5.4	100 mm	6 L	0%	Sim	0,46
5.5	100 mm	6 L	1%	Sim	0,51
5.6	100 mm	6 L	2%	Sim	0,73

Na Figura 5.4, com a declividade 0%, observa-se um remanso hidráulico no sensor S1 e S2 e o pico de altura de lâmina d'água no sensor S3 de 43 mm. A seção S3 é a primeira seção onde ocorre a sobreposição dos escoamentos do chuveiro, do lavatório e da bacia sanitária. Entre os instantes 6 s e 9 s percebe-se que a diminuição da lâmina d'água para níveis inferiores aos iniciais de cerca de 6 mm. Isso ocorre devido ao efeito de pressão negativa que a onda faz na tubulação quando da passagem da onda de descarga.

Figura 5.4 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 0% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm

Na Figura 5.5 estão apresentados os gráficos do ensaio com declividade de 1% no ramal de esgoto e de 0% no ramal de esgoto. Observa-se que o remanso no sensor da seção S2 não é mais percebido, pois a declividade de 1% imprime velocidade de

escoamento por gravidade ao fluido. No sensor S1 há pequena redução na altura do remanso hidráulico medido. Nota-se o alargamento da base e a diminuição da lâmina de pico pelo aumento da velocidade do escoamento.

Figura 5.5 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm

No gráfico da Figura 5.6, a única variável que é alterada em relação ao ensaio cujos resultados são apresentados no gráfico da Figura 5.5 é a declividade que passou a ser de 2%. Com isso, observa-se o desaparecimento completo do remanso hidráulico nos sensores das seções 1 e 2, além do alargamento da base com redução da altura da lâmina d'água de pico pelo aumento da velocidade de escoamento.

Figura 5.6 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm

Em resumo, nos gráficos das Figuras 5.4 a 5.6, percebeu-se com o aumento da declividade o alargamento da base da curva de escoamento e consequente redução da altura da lâmina d'água.

Nas Figuras 5.7 a 5.12 são apresentados os gráficos dos ensaios utilizando bacia sanitária com volume de descarga nominal de 4,8 L.

Nas Figuras 5.7 a 5.9 o diâmetro do ramal de esgoto é de 100 mm com contribuição somente da bacia sanitária e variando-se a declividade em 0%, 1% e 2%.

Na Tabela 5.3, a seguir, são apresentados o resumo dos ensaios para melhor entendimento dos ensaios das diferentes montagens dos ensaios.

Tabela 5.3 – Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 100 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 4,8 L, ausência de vazão em regime permanente e variação da declividade em 0%, 1% e 2% no pavimento superior.

Figura	Diâmetro da tubulação	Volume de descarga da BS	Declividade	Vazão em regime permanente 0,35 L/s	Velocidade média entre S1 e S3 (m/s)
5.7	100 mm	4,8 L	0%	Não	0,76
5.8	100 mm	4,8 L	1%	Não	0,76
5.9	100 mm	4,8 L	2%	Não	0,59

No gráfico da Figura 5.7, está apresentado o resultado do ensaio com declividade 0%, nota-se que houve redução no pico de 38 mm para 33 mm em relação ao ensaio equivalente com bacia sanitária VDN 6 L decorrente do menor volume utilizado, entretanto, a seção de pico também foi alterada para a primeira seção, mais próxima a bacia sanitária.

Figura 5.7 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 0% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm

A seguir, na Figura 5.8, está apresentado o resultado do ensaio quando da variação da declividade para 1%, mantidas as condições do ensaio, cujos resultados estão apresentados no gráfico da Figura 5.7. Observa-se um pequeno alargamento na base da curva de escoamento e diminuição do pico da lâmina d'água em 1 mm.

Figura 5.8 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm

No gráfico da Figura 5.9, mantidas as características do ensaio cujos resultados estão apresentados no gráfico da Figura 5.8, alterou-se a declividade de 1% para 2% observando-se acentuada redução da altura da lâmina d'água no pico, decorrente da menor velocidade do escoamento.

Figura 5.9 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm

Em resumo, com a bacia de VDN 4,8 L, o comportamento da curva de escoamento da bacia sanitária é semelhante ao do ensaio realizado com a bacia sanitária de VDN 6 L, quando da variação da declividade. Neste caso, foram observados menores valores de pico em função do menor volume de descarga.

A seguir, nos gráficos das Figuras 5.10 a 5.12, os ensaios são realizados com o diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm com o emprego da bacia sanitária VDN 4,8 L, variando-se as declividades do ramal de esgoto da bacia sanitária em 0%, 1% e 2% e mantida vazão constante de 0,35 L/s, proveniente do ramal de esgoto do ralo sifonado de declividade 0% em todas as repetições, simulando as contribuições de um chuveiro e lavatório.

Na Tabela 5.4, a seguir, são apresentados o resumo dos ensaios para melhor entendimento dos ensaios das diferentes montagens dos ensaios.

Tabela 5.4 – Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 100 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 4,8 L, presença de vazão em regime permanente no valor de 0,35 L/s e variação da declividade em 0%, 1% e 2% no pavimento superior

Figura	Diâmetro da tubulação	Volume de descarga da BS	Declividade	Vazão em regime permanente 0,35 L/s	Velocidade média entre S1 e S3 (m/s)
5.10	100 mm	4,8 L	0%	Sim	0,57
5.11	100 mm	4,8 L	1%	Sim	0,67
5.12	100 mm	4,8 L	2%	Sim	0,67

No gráfico da Figura 5.10, observa-se um remanso hidráulico no sensor S2 decorrente da vazão constante no ramal de esgoto do ralo sifonado. Percebe-se que após a junção de esgoto a altura da lâmina d'água aumenta consideravelmente. Isso decorre de o fato do trecho do ramal de esgoto após a junção simples estar com cerca de 13 mm de altura da lâmina d'água previamente ao acionamento da bacia sanitária, altura que se soma a altura inicial da onda menos o amortecimento da energia cinética.

Figura 5.10 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 0% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm

A seguir, na Figura 5.11, está apresentado o comportamento da curva de escoamento somente com variação da declividade de 0% para 1% em relação ao ensaio cujos resultados estão apresentados na Figura 5.10. Observa-se que devido a maior velocidade de escoamento no ramal de esgoto da bacia sanitária, o efeito da vazão proveniente do ramal de esgoto do ralo sifonado sobre a altura da lâmina d'água no ramal de esgoto da bacia sanitária é menor.

Figura 5.11 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm

A seguir, na Figura 5.12, é apresentado o resultado do ensaio quando da variação da declividade para 2% em relação ao ensaio anterior, mantidos constantes todos os demais parâmetros. As características da curva de escoamento foram similares ao ensaio de declividade 1%.

Figura 5.12 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm

5.1.2 Ensaio no ramal de esgoto com diâmetro de 75 mm

Nos gráficos das Figuras 5.13 a 5.24, estão representados os ensaios nos ramais de esgoto da bacia sanitária para tubulação de 75 mm e de 50 mm para o ramal de esgoto do ralo sifonado. Nos gráficos das Figuras 5.13 a 5.18, a bacia sanitária utilizada foi a de VDN 6 L e nos gráficos das Figuras 5.19 a 5.24, utilizou-se a bacia sanitária VDN 4,8 L.

A seguir, nos gráficos das Figuras 5.13 a 5.18, são apresentados os resultados dos ensaios onde os volumes de contribuição são provenientes somente da bacia sanitária. As declividades foram variadas em 0%, 1% e 2%

Na Tabela 5.5 a seguir é apresentado um resumo para melhor entendimento das diferentes montagens dos ensaios.

Tabela 5.5 – Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, ausência de vazão em regime permanente e variação da declividade em 0%, 1% e 2% no pavimento superior.

Figura	Diâmetro da tubulação	Volume de descarga da BS	Declividade	Vazão em regime permanente 0,35 L/s	Velocidade média entre S1 e S3 (m/s)
5.13	75mm	6 L	0%	Não	0,58
5.14	75mm	6 L	1%	Não	0,83
5.15	75mm	6 L	2%	Não	0,77

Na Figura 5.13, percebe-se a formação de remanso hidráulico no ramal de esgoto do ralo sifonado, evidenciado pela marcação de elevação do fluido em ambos os sensores capacitivos deste trecho, S5 e S6.

Figura 5.13 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 0% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L - Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm

Na Figura 5.14 a seguir, são apresentados os resultados após ser feita a variação da declividade passando de 0% para 1% e mantidas constantes as demais variáveis em relação ao ensaio cujos resultados estão apresentados no gráfico da Figura 5.13. Nota-se menor altura de lâmina no ramal de esgoto pelo remanso d'água, todavia, observou-se uma marcação de pico muito maior do que no ensaio anterior. Analisando-se o comportamento geral da curva de descarga, percebe-se que as

marcações foram em sua maioria inferiores a 25 mm e que o pico pontual foi decorrente da maior velocidade da água no escoamento.

Figura 5.14 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm

Na Figura 5.15 a seguir, são apresentados os resultados quando da variação da declividade em relação ao ensaio cujos resultados são apresentados na Figura 5.14. Observa-se a mesma tendência de comportamento da curva de escoamento, todavia, observou-se a redução média das alturas de lâmina d'água. Ressalta-se que eventualmente, de forma pontual pode ocorrer a marcação de pico superior à média pela característica de marcação dos sensores capacitivos, pela característica turbulenta do escoamento e pelo fenômeno ser mais evidenciado quando o espaço é diminuído, como na tubulação de 75 mm.

Figura 5.15 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm

Nos gráficos das Figuras 5.16 a 5.18 são mantidas as condições de ensaio, tubulação de 75 mm no ramal de esgoto e 50 mm no ramal de esgoto do ralo sifonado, bacia com VDN 6L, declividades variando de 0% a 2% e acrescentados o volume de 0,35 L/s no ramal de esgoto, a jusante da caixa sifonada, simulando o uso de lavatório e chuveiro.

Na Tabela 5.6, a seguir, são apresentados o resumo dos ensaios para melhor entendimento em suas diferentes montagens.

Tabela 5.6 – Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, presença de vazão em regime permanente e variação da declividade em 0%, 1% e 2% no pavimento superior.

Figura	Diâmetro da tubulação	Volume de descarga da BS	Declividade	Vazão em regime permanente 0,35L/s	Velocidade média entre S1 e S3 (m/s)
5.16	75 mm	6 L	0%	Sim	0,70
5.17	75mm	6 L	1%	Sim	0,77
5.18	75 mm	6 L	2%	Sim	0,65

No gráfico da Figura 5.16, percebe-se, devido à baixa declividade, o remanso proveniente do ramal de esgoto da bacia sanitária para o ramal de esgoto do ralo

sifonado, após o acionamento da descarga na bacia sanitária, evidenciado pelo aumento do nível marcado pelo sensor S5. O pico da altura da lâmina d'água é de 36 mm e ocorre próximo a média da curva de escoamento.

Figura 5.16 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 0% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm

Na sequência, na Figura 5.17, é apresentado o resultado quando da variação da declividade de 0% para 1% em relação ao ensaio cujo resultado é expresso na Figura 5.16. Nota-se a marcação de valores superiores ao pico no ensaio anterior, decorrentes do aumento da velocidade e das características de escoamento turbulento.

Figura 5.17 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm

No gráfico da Figura 5.18, é alterado o parâmetro da declividade em relação ao ensaio cujo resultado é apresentado no gráfico da Figura 5.17. Nota-se a redução do pico da curva de descarga e o alargamento da base, devido a diminuição da velocidade de escoamento da água.

Figura 5.18 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm

Nos gráficos das Figuras 5.19 a 5.24, a bacia sanitária utilizada é a de VDN 4,8 L. Na Tabela 5.7, a seguir, é apresentado o resumo dos ensaios para melhor entendimento dos ensaios das diferentes montagens.

Tabela 5.7 – Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 75 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, ausência de vazão em regime permanente e variação da declividade em 0%, 1% e 2% no pavimento superior.

Figura	Diâmetro da tubulação	Volume de descarga da BS	Declividade	Vazão em regime permanente 0,35 L/s	Velocidade média entre S1 e S3 (m/s)
5.19	75 mm	4,8 L	0%	Não	1,03
5.20	75 mm	4,8 L	1%	Não	0,98
5.21	75 mm	4,8 L	2%	Não	1,01

Na Figura 5.19, devido a declividade nula, nota-se um pequeno remanso hidráulico no ramal de esgoto do ralo sifonado, sensores S5 e S6 e uma altura de lâmina d'água de 41mm, no sensor S3, após a junção simples. Esta marcação de 41 mm pode ser explicada pela velocidade elevada do escoamento, pelo diâmetro da tubulação que contribui para a elevação média da lâmina d'água e pela influência da junção simples concêntrica no escoamento.

Figura 5.19 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 0% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8L – Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm

A seguir, no gráfico da Figura 5.20, é alterada a declividade de 0% para 1% em relação ao ensaio cujo resultado está apresentado na Figura 5.19. O comportamento da curva de escoamento é alterado apresentando alargamento da base e pico, aproximadamente constante, mudando a seção de ocorrência do pico para a seção S2 nas proximidades da bacia sanitária. Dada a velocidade ter se mantido praticamente constante, infere-se que a alteração da declividade tenha provocado desvio no escoamento e consequente aumento da lâmina d'água na seção S2.

Figura 5.20 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L - Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm

Na Figura 5.21 é apresentado o resultado do ensaio utilizando declividade de 2%. Fica mais evidenciada a diminuição do pico da altura da lâmina d'água da curva de descarga devido a alteração na declividade do ramal de esgoto da bacia sanitária.

Figura 5.21 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm

Na sequência, nos gráficos das Figuras 5.22 a 5.24, é adicionada em relação aos últimos ensaios a vazão constante de 0,35 L/s no ramal de esgoto do ralo sifonado, simulando o uso concomitante de chuveiro e lavatório.

Na Tabela 5.8, a seguir, é apresentado o resumo dos ensaios para melhor entendimento dos ensaios das diferentes montagens.

Tabela 5.8 – Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 75 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 4,8 L, presença de vazão em regime permanente e variação da declividade em 0%, 1% e 2% no pavimento superior.

Figura	Diâmetro da tubulação	Volume de descarga da BS	Declividade	Vazão em regime permanente 0,35 L/s	Velocidade média entre S1 e S3 (m/s)
5.22	75 mm	4,8 L	0%	Sim	0,74
5.23	75 mm	4,8 L	1%	Sim	0,95
5.24	75 mm	4,8 L	2%	Sim	1,01

No gráfico da Figura 5.22 observa-se devido à baixa declividade um pequeno remanso hidráulico nos sensores S1 e S2. O pico da lâmina d'água é de 59 mm na seção S2, a mais próxima da bacia sanitária.

Figura 5.22 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 0% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s - Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm

Na Figura 5.23, é alterada a declividade passando de 0% para 1% mantidas as demais variáveis constantes em relação ao ensaio cujo resultado é apresentado na Figura 5.22. Observa-se a diminuição do pico da altura da lâmina d'água e alargamento da base com aumento da velocidade de escoamento.

Figura 5.23 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s - Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm

Com o aumento da declividade para 2%, houve o aumento da velocidade de escoamento, diminuição da altura de pico da lâmina d'água em relação ao ensaio cujo resultado é apresentado em 5.23. Houve grande alargamento da base da curva no tempo

Figura 5.24 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s - Diâmetro do ramal de esgoto de 75 mm

5.3 ENSAIOS E ANÁLISE DO ESCOAMENTO NOS COLETORES

Neste item são analisadas todas as seções do coletor de esgoto, quais sejam: S1, S2, S3, S4, S5 e S6.

5.3.1 Ensaios no coletor de esgoto com diâmetro de 100 mm

Nos gráficos das Figuras 5.25 a 5.27, as condições de ensaio foram: bacia sanitária com volume de descarga nominal de 6 L, coletor de esgoto com diâmetro de 100 mm, ausência de vazões de chuveiro e lavatório e variação das declividades em 1%, 2% e 3%.

Na Tabela 5.9, a seguir, é apresentado o resumo dos ensaios para melhor entendimento dos ensaios das diferentes montagens.

Tabela 5.9 – Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, ausência de vazão em regime permanente e variação da declividade em 1%, 2% e 3% no pavimento inferior.

Figura	Diâmetro da tubulação	Volume de descarga da BS	Declividade	Vazão em regime permanente 0,35 L/s	Velocidade média entre S2 e S3 (m/s)
5.25	100 mm	6 L	1%	Não	1,56
5.26	100 mm	6 L	2%	Não	1,25
5.27	100 mm	6 L	3%	Não	1,31

Na Figura 5.25, estão apresentados os gráficos que correspondem a altura da lâmina d'água nas seis seções monitoradas, na situação de uso somente da bacia sanitária, e declividade de 1% no coletor de esgoto. A altura máxima da lâmina d'água foi registrada pelo sensor S1 atingindo o pico de 45 mm. Este é o ponto mais provável para a ocorrência dos picos de altura de lâmina d'água pela influência da mudança de direção no comportamento do escoamento.

Figura 5.25 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm

A seguir, na Figura 5.26 são apresentados os resultados quando da variação da declividade de 1% para 2%, mantidos constantes os demais parâmetros em relação ao ensaio cujo resultado está expresso na Figura 5.25. Os resultados mostram pouco impacto no comportamento geral da curva de escoamento. Observou-se pequeno aumento pontual no pico da altura da lâmina d'água mesmo com a diminuição da velocidade de escoamento e pode ser explicado pela alteração da declividade que impacta no comportamento do escoamento sobretudo na mudança de direção.

Figura 5.26 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm

No gráfico da Figura 5.27, em relação ao ensaio cujos resultados foram apresentados na Figura 5.26, variou-se novamente a declividade, aumentando-a em 1% e mantidos constantes os demais parâmetros.

Figura 5.27 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 3% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm

Nos gráficos das Figuras 5.28 a 5.30, as condições de ensaio foram: bacia sanitária com volume de descarga nominal de 6 L, coletor de esgoto com diâmetro de 100 mm,

presença da vazão em regime permanente de 0,35 L/s do chuveiro e lavatório e variação das declividades de 1%, 2% e 3%.

Na Tabela 5.10, a seguir, é apresentado o resumo dos ensaios para melhor entendimento dos ensaios das diferentes montagens dos ensaios.

Tabela 5.10 – Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, presença de vazão em regime permanente e variação da declividade em 1%, 2% e 3% no pavimento inferior.

Figura	Diâmetro da tubulação	Volume de descarga da BS	Declividade	Vazão em regime permanente 0,35 L/s	Velocidade média entre S2 e S3 (m/s)
5.28	100 mm	6 L	1%	Sim	1,20
5.29	100 mm	6 L	2%	Sim	0,76
5.30	100 mm	6 L	3%	Sim	1,66

Na Figura 5.38, estão apresentados os gráficos que correspondem a altura da lâmina d'água nas seis seções monitoradas na situação de uso da bacia sanitária e contribuição do chuveiro e lavatório, com declividade de 1% no coletor de esgoto. A altura máxima da lâmina d'água foi registrada pelo sensor S1 atingindo o pico de 50 mm.

Em relação ao mesmo ensaio sem a presença da vazão proveniente do lavatório e chuveiro, houve um aumento do valor de pico da lâmina d'água de 5 mm com a redução da velocidade de escoamento. Essa elevação pode ser explicada pela maior vazão concomitante no escoamento devido a contribuição da vazão proveniente do chuveiro e lavatório.

Figura 5.28 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm

A seguir, no gráfico da Figura 5.29, os resultados apresentados são relativos aos ensaios realizados, mantidos os parâmetros do ensaio, cujos resultados foram apresentados no gráfico da Figura 5.28 alterando-se apenas a declividade de 1% para 2%. O resultado mostrou a diminuição da altura da lâmina d'água e da redução da velocidade de escoamento.

Figura 5.29 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm

No gráfico da Figura 5.30, estão apresentados os resultados do ensaio realizado variando-se a declividade de 2% para 3% em relação ao ensaio cujo resultado está expresso no gráfico da Figura 5.29. Comparando-se os resultados, observou-se grande variação a altura do pico da curva de descarga de 11 mm e também o aumento da velocidade de escoamento e estreitamento da base da curva de escoamento. Explica-se o resultado pelo aumento da declividade do coletor de esgoto.

Figura 5.30 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 3% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm

Nos gráficos das Figuras 5.31 a 5.33, as condições de ensaio foram: bacia sanitária com volume de descarga nominal de 4,8 L, coletor de esgoto com diâmetro de 100 mm, ausência de vazões de chuveiro e lavatório e variação das declividades de 1% a 3%.

Na Tabela 5.11 a seguir é apresentado um resumo para melhor entendimento dos ensaios das diferentes montagens.

Tabela 5.11 – Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 4,8 L, ausência de vazão em regime permanente e variação da declividade em 1%, 2% e 3% no pavimento inferior.

Figura	Diâmetro da tubulação	Volume de descarga da BS	Declividade	Vazão em regime permanente 0,35 L/s	Velocidade média entre S2 e S3 (m/s)
5.31	100 mm	4,8 L	1%	Não	1,13
5.32	100 mm	4,8 L	2%	Não	1,78
5.33	100 mm	4,8 L	3%	Não	1,42

Na Figura 5.31, estão apresentados os gráficos que correspondem a altura da lâmina d'água nas seis seções monitoradas na situação de uso somente da bacia sanitária e declividade de 1% no coletor de esgoto. A altura máxima da lâmina d'água foi registrada pelo sensor S1 atingindo o pico de 33 mm na seção S1.

Figura 5.31 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm

A seguir, na Figura 5.32, são apresentados os dados do ensaio variando, em relação ao ensaio cujos resultados estão apresentados no gráfico da Figura 5.31, a declividade de 1% para 2% mantidos os demais parâmetros constantes. Observa-se o aumento da altura de pico da lâmina d'água pelo aumento da velocidade de escoamento e da mudança da declividade de 1% para 2%.

Figura 5.32 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm

A seguir, foi alterada a declividade de 2% para 3% e os resultados apresentados na Figura 5.33. Nota-se pelos resultados que houve diminuição da velocidade de escoamento da água e diminuição da altura de pico da lâmina d'água em 1 mm.

Figura 5.33 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 3% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm

Nos gráficos das Figuras 5.34 a 5.46, as condições de ensaio foram: bacia sanitária com volume de descarga nominal de 4,8 L, diâmetro do coletor de esgoto de 100mm,

presença da vazão em regime permanente de 0,35 L/s proveniente do chuveiro e lavatório e variação das declividades em 1%, 2% e 3%.

Na Tabela 5.12 a seguir são apresentados o resumo dos ensaios para melhor entendimento dos ensaios das diferentes montagens dos ensaios.

Tabela 5.12 – Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do ramal de esgoto 100 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 4,8 L, presença de vazão em regime permanente e variação da declividade em 1%, 2% e 3% no pavimento inferior.

Figura	Diâmetro da tubulação	Volume de descarga da BS	Declividade	Vazão em regime permanente 0,35L/s	Velocidade média entre S2 e S3 (m/s)
5.34	100mm	4,8L	1%	Sim	1,78
5.35	100mm	4,8L	2%	Sim	1,28
5.36	100mm	4,8L	3%	Sim	1,66

Na Figura 5.34, estão apresentados os gráficos que correspondem a altura da lâmina d'água nas seis seções monitoradas na situação de uso da bacia sanitária com contribuição do lavatório e chuveiro e declividade de 1% no coletor de esgoto. A altura máxima da lâmina d'água foi registrada pelo sensor S4 atingindo o pico de 37 mm.

Figura 5.34 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm

A seguir, variou-se a declividade de 1% para 2% mantidos os demais parâmetros constantes do ensaio cujos resultados foram apresentados anteriormente em 5.34. Observou-se o aumento da lâmina d'água em 8 mm, apesar da diminuição da velocidade, o que evidencia que o ângulo da conexão na mudança de direção influencia a altura da lâmina d'água registrada no sensor S1.

Figura 5.35 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm

Na Figura 5.36 estão os resultados cujo ensaio variou-se de 2% para 3% a declividade do coletor de esgoto sanitário sem alterar as demais características e parâmetros do ensaio cujos resultados foram apresentados em 5.35. Observou-se o aumento da velocidade de escoamento com aumento da lâmina d'água de pico para 49 mm em decorrência do aumento da declividade.

Figura 5.36 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 3% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 100 mm

5.3.2 Ensaios no coletor de esgoto com diâmetro de 75 mm

Nos gráficos das Figuras 5.37 a 5.38, as condições de ensaio foram: bacia sanitária com volume de descarga nominal de 6 L coletor de esgoto com diâmetro de 75 mm, ausência de vazões de chuveiro e lavatório e variação das declividades em 1%, 2% e 3%.

Na Tabela 5.13 a seguir são apresentados o resumo dos ensaios para melhor entendimento dos ensaios das diferentes montagens dos ensaios.

Tabela 5.13 – Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, ausência de vazão em regime permanente e variação da declividade em 1%, 2% e 3% no pavimento inferior.

Figura	Diâmetro da tubulação	Volume de descarga da BS	Declividade	Vazão em regime permanente 0,35 L/s	Velocidade média entre S2 e S3 (m/s)
5.37	75 mm	6 L	1%	Não	0,76
5.38	75 mm	6 L	2%	Não	0,92
5.39	75 mm	6 L	3%	Não	0,89

Na Figura 5.37, estão apresentados os gráficos que correspondem a altura da lâmina d'água nas seis seções monitoradas na situação de uso somente da bacia sanitária e declividade de 1% no coletor de esgoto. A altura máxima da lâmina d'água foi registrada pelo sensor S1 atingindo o pico de 55 mm.

Figura 5.37 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm

A seguir, na Figura 5.38 são apresentados os resultados quando da variação da declividade de 1% para 2%, mantidos constantes os demais parâmetros em relação ao ensaio cujo resultado está apresentado no gráfico da Figura 5.37. Os resultados mostram pouco impacto no comportamento geral da curva de escoamento. Observou-se pequena diminuição no pico da profundidade do escoamento em 1 mm e aumento da velocidade de escoamento.

Figura 5.38 – Profundidade do escoamento em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm

No gráfico da Figura 5.39, em relação ao ensaio cujos resultados foram apresentados na Figura 5.38, variou-se novamente a declividade, aumentando-a em 1%, de 2% para 3% e mantidos constantes os demais parâmetros. Os resultados mostram pequena diminuição na velocidade de escoamento e pequeno aumento da profundidade do escoamento de 3 mm

Figura 5.39 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 3% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 6 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm

Nos gráficos das Figuras 5.40 a 5.42, as condições de ensaio foram: bacia sanitária com volume de descarga nominal de 6 L, coletor de esgoto com diâmetro de 75 mm, presença da vazão em regime permanente de 0,35 L/s do chuveiro e lavatório e variação das declividades em 1%, 2% e 3%.

Na Tabela 5.14, a seguir, é apresentado o resumo para melhor entendimento dos ensaios das diferentes montagens.

Tabela 5.14 – Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 6 L, presença de vazão em regime permanente e variação da declividade em 1%, 2% e 3% no pavimento inferior.

Figura	Diâmetro da tubulação	Volume de descarga da BS	Declividade	Vazão em regime permanente 0,35 L/s	Velocidade média entre S2 e S3 (m/s)
5.40	75 mm	6 L	1%	Sim	1,08
5.41	75 mm	6 L	2%	Sim	0,90
5.42	75 mm	6 L	3%	Sim	1,28

Na Figura 5.40, estão apresentados os gráficos que correspondem a altura da lâmina d'água nas seis seções monitoradas na situação de uso da bacia sanitária com contribuição do chuveiro e lavatório e declividade de 1% no coletor de esgoto. A altura máxima da lâmina d'água foi registrada pelo sensor S1 atingindo o pico de 59 mm.

Figura 5.40 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm

A seguir, na Figura 5.41, são apresentados os resultados do ensaio realizando quando da variação em relação ao ensaio cujos resultados estão apresentados no gráfico da Figura 5.40, a declividade de 1% para 2% mantidos os demais parâmetros constantes. Observa-se a diminuição da altura de pico da lâmina d'água e a diminuição da velocidade de escoamento da água.

Figura 5.41 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm

Na Figura 5.42, os resultados mostram a alteração da declividade de 2% para 3%. Nota-se pelos resultados que houve aumento da velocidade do fluido e aumento da altura de pico da lâmina d'água em 2 mm.

Figura 5.42 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 3% e acionamento da bacia sanitária VDN 6 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm

Nos gráficos das Figuras 5.43 a 5.45, as condições de ensaio foram: bacia sanitária com volume de descarga nominal de 4,8 L, diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm, ausência de vazões de chuveiro e lavatório e variação das declividades em 1%, 2% e 3%.

Na Tabela 5.15 a seguir são apresentados o resumo dos ensaios para melhor entendimento dos ensaios das diferentes montagens dos ensaios.

Tabela 5.15 – Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 4,8 L, ausência de vazão em regime permanente e variação da declividade em 1%, 2% e 3% no pavimento inferior.

Figura	Diâmetro da tubulação	Volume de descarga da BS	Declividade	Vazão em regime permanente 0,35 L/s	Velocidade média entre S2 e S3 (m/s)
5.43	75 mm	4,8 L	1%	Não	1,38
5.44	75 mm	4,8 L	2%	Não	1,16
5.45	75 mm	4,8 L	3%	Não	1,92

Na Figura 5.43, estão apresentados os gráficos que correspondem a altura da lâmina d'água nas seis seções monitoradas na situação de uso somente da bacia sanitária e declividade de 1% no coletor de esgoto. A altura máxima da lâmina d'água foi registrada pelo sensor S1 atingindo o pico de 50 mm.

Figura 5.43 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm

A seguir, na Figura 5.44, são apresentados os resultados do ensaio variando, em relação ao ensaio cujos resultados estão apresentados no gráfico da Figura 5.43, a declividade de 1% para 2% e mantidos os demais parâmetros constantes. Observa-se que altura de pico da lâmina d'água manteve-se constante e houve pequena redução na velocidade de escoamento da água.

Figura 5.44 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm

A seguir, foi alterada a declividade de 2% para 3% e os resultados apresentados na Figura 5.45. Nota-se pelos resultados que houve ligeira diminuição nos valores de pico da altura da lâmina d'água da curva de vazão.

Figura 5.45 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 3% e acionamento somente da bacia sanitária VDN 4,8 L – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm

Nos gráficos das Figuras 5.46 a 5.48, as condições de ensaio foram: bacia sanitária com volume de descarga nominal de 4,8 L, tubulação com diâmetro de 75 mm, presença da vazão em regime permanente de 0,35 L/s do chuveiro e lavatório e variação das declividades de 1% a 3%.

Na Tabela 5.16, a seguir, é apresentado o resumo dos ensaios para melhor entendimento dos ensaios das diferentes montagens dos ensaios.

Tabela 5.16 – Resumo das configurações de ensaio e velocidades para diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm, volume de descarga da bacia sanitária de 4,8 L, presença de vazão em regime permanente e variação da declividade em 1%, 2% e 3% no pavimento inferior.

Figura	Diâmetro da tubulação	Volume de descarga da BS	Declividade	Vazão em regime permanente 0,35 L/s	Velocidade média entre S2 e S3 (m/s)
5.46	75 mm	4,8 L	1%	Sim	1,11
5.47	75 mm	4,8 L	2%	Sim	1,35
5.48	75 mm	4,8 L	3%	Sim	1,85

Na Figura 5.46, estão apresentados os gráficos que correspondem a altura da lâmina d'água nas seis seções monitoradas na situação de uso da bacia sanitária com contribuição do lavatório e chuveiro e declividade de 1% no coletor de esgoto. A altura máxima da lâmina d'água foi registrada pelo sensor S1 atingindo o pico de 64 mm.

Figura 5.46 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 1% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm

A seguir, variou-se a declividade de 1% para 2% e mantidos os demais parâmetros constantes em relação ao ensaio cujos resultados foram apresentados anteriormente

na Figura 5.46. Observou-se a redução do pico da lâmina d'água em 13 mm e o pequeno aumento da velocidade de escoamento.

Figura 5.47 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 2% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm

Na Figura 5.48 estão os resultados do ensaio após a variação da declividade de 2% para 3% no coletor de esgoto sanitário, sem alterar as demais características e parâmetros do ensaio cujos resultados foram apresentados na Figura 5.47. Observou-se o aumento da velocidade de escoamento com aumento da lâmina d'água de pico para 54 mm.

Figura 5.48 – Altura da lâmina d'água em todas as seções da configuração com declividade de 3% e acionamento da bacia sanitária VDN 4,8 L, chuveiro de 0,20 L/s e lavatório 0,15 L/s – – Diâmetro do coletor de esgoto de 75 mm

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados que puderam ser observados durante a realização dos ensaios laboratoriais nos ramais de descarga, ramais de esgoto e coletor predial de esgoto sanitário de um banheiro residencial no segundo pavimento. Sempre que possível, explicou-se de modo detalhado como foi construído o raciocínio que levou à conclusão a partir dos resultados.

Procurou-se, após a realização dos ensaios, um denominador comum a que pudessem ser comparados os resultados, procurando responder à pergunta inicialmente proposta por este trabalho de como a redução dos diâmetros das tubulações impactariam no desempenho do sistema predial de esgoto sanitário.

Conforme exposto no capítulo dois, segundo Swaffield *et al* (2000), o escoamento, sobretudo nos trechos próximos à bacia sanitária pode ser entendido pelo método das características e obedece às equações da continuidade e da quantidade de movimento. O autor afirma que a capacidade do escoamento de transportar sólidos e, com isso, prover a autolimpeza dos coletores depende, principalmente, da velocidade de onda do escoamento variando diretamente proporcional com essa velocidade

Simulações feitas com o emprego do método das características mostraram que não necessariamente o aumento da altura da lâmina d'água dentro da tubulação levaram a melhores resultados de transporte de sólidos, pelas razões que podem ocorrer fenômenos, como perda de carga em conexões ou ressaltos e remansos hidráulicos, que mudam as características e dinâmicas de escoamento. Em realidade, a combinação de fatores dependentes da velocidade do fluido que transporta os sólidos mostrou-se como a variável mais importante na determinação da capacidade de escoamento. (SWAFFIELD *et al*. 2000).

Uma preocupação foi a de saber até que ponto ou se todo o comprimento da tubulação estaria inserido nas condições de contorno em que a energia cinética das ondas é a principal responsável pela autolimpeza dos condutores e não a tensão trativa. Segundo Swaffield *et al*. (2000), o amortecimento das ondas ocorre a partir de 4 m de distância da fonte de energia, ou seja, a pelo menos 4 m da bacia sanitária e para o

coletor, após pelo menos 4 m do tubo de queda. Nas condições de ensaio, procurou-se simular as condições reais de utilização em uma residência unifamiliar de dois pavimentos ou um pequeno edifício e, por essa razão, o comprimento das tubulações foi limitado em 3 m.

Assim, a primeira escolha como denominador comum de base para comparação dos resultados foi a velocidade da onda, quando variados os demais parâmetros e, assim procurou-se estabelecer relações, cujos resultados são apresentados a seguir nas Tabelas 6.1 a 6.8.

Na Tabelas 6.1 a 6.8 é utilizado o termo B, para bacia sanitária, e BCL, para bacia sanitária, chuveiro e lavatório. Foram utilizadas setas para facilitar a visualização das variações percentuais das velocidades sendo que, a seta verde na direção vertical e sentido de baixo para cima significa aumento da velocidade, quando da variação do parâmetro. A seta amarela, na direção horizontal e sentido da esquerda para direita, significa estabilidade ou a não alteração da velocidade, em decorrência da variação do parâmetro. Finalmente, a seta vermelha, no sentido vertical e direção de cima para baixo significa o decréscimo da velocidade quando da variação do parâmetro.

Na Tabela 6.1 está representada a influência da variação da declividade na velocidade de escoamento da água no ramal de esgoto, mantidos os demais parâmetros constantes para a montagem superior. Nota-se que não há correlação direta sobre o benefício ou não da alteração da declividade, próximo ao ponto de instalação da bacia sanitária, onde a energia cinética do escoamento é grande. Algumas vezes, o aumento da declividade contribuiu para o escoamento, outras vezes prejudicou, ocorrendo de maneira não linear nas diferentes configurações.

Tabela 6.1 – Variação percentual da velocidade de escoamento no ramal de esgoto em m/s em função da mudança de declividade para a montagem do pavimento superior nas diferentes configurações de ensaio.

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE EM FUNÇÃO DA DECLIVIDADE					
PAVIMENTO SUPERIOR					
RAMAL DE DESCARGA E RAMAL DE ESGOTO					
CONFIGURAÇÃO	0%	Variação	1%	Variação	2%
6L 100mm B	0,71	↓ 39,22%	0,51	↑ 62,75%	0,83
6L 100mm BCL	0,46	↑ 10,87%	0,51	↑ 43,14%	0,73
6L 75mm B	0,58	↑ 43,10%	0,83	↓ 7,79%	0,77
6L 75mm BCL	0,7	↑ 10,00%	0,77	↓ 18,46%	0,65
4,8L 100mm B	0,76	→ 0,00%	0,76	↓ 28,81%	0,59
4,8L 100mm BCL	0,57	↑ 17,54%	0,67	→ 0,00%	0,67
4,8L 75mm B	1,03	↓ 5,10%	0,98	↑ 3,06%	1,01
4,8L 75mm BCL	0,74	↑ 28,38%	0,95	↑ 6,32%	1,01

A seguir, na Tabela 6.2, estão apresentados os resultados da influência da variação da declividade sobre a velocidade de escoamento da água no coletor de esgoto para as diferentes configurações da montagem no pavimento inferior. Não são percebidas variações lineares que seja possível afirmar que o aumento da declividade contribui para melhorar o escoamento.

Tabela 6.2 – Variação percentual da velocidade de escoamento no coletor de esgoto em m/s em função da mudança de declividade para a montagem do pavimento inferior nas diferentes configurações de ensaio

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE EM FUNÇÃO DA DECLIVIDADE					
PAVIMENTO INFERIOR					
COLETOR DE ESGOTO					
CONFIGURAÇÃO	1%	Variação	2%	Variação	3%
6L 100mm B	1,56	↓ 24,80%	1,25	↑ 4,80%	1,31
6L 100mm BCL	1,2	↓ 57,89%	0,76	↑ 118,42%	1,66
6L 75mm B	0,76	↑ 21,05%	0,92	↓ 3,37%	0,89
6L 75mm BCL	1,08	↓ 20,00%	0,9	↑ 42,22%	1,28
4,8L 100mm B	1,13	↑ 57,52%	1,78	↓ 25,35%	1,42
4,8L 100mm BCL	1,78	↓ 39,06%	1,28	↑ 29,69%	1,66
4,8L 75mm B	1,38	↓ 18,97%	1,16	↑ 65,52%	1,92
4,8L 75mm BCL	1,11	↑ 21,62%	1,35	↑ 37,04%	1,85

Na Tabela 6.3 são apresentados os resultados do impacto da variação do volume de descarga da bacia sanitária na velocidade de escoamento para as diferentes configurações nos ramais de descarga e esgoto na montagem superior.

Tabela 6.3 – Variação percentual da velocidade de escoamento no ramal de esgoto em m/s em função da mudança de volume de descarga nominal para a montagem do pavimento superior nas diferentes configurações de ensaio

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE EM FUNÇÃO DO VOLUME DA BACIA SANITÁRIA				
PAVIMENTO SUPERIOR				
RAMAL DE DESCARGA E RAMAL DE ESGOTO				
CONFIGURAÇÃO	6L	Variação	4,8L	
100mm B 0%	0,71	↑ 7,04%	0,76	
100mm B 1%	0,51	↑ 49,02%	0,76	
100mm B 2%	0,83	↓ 40,68%	0,59	
100mm BCL 0%	1,45	↓ 154,39%	0,57	
100mm BCL 1%	0,51	↑ 31,37%	0,67	
100mm BCL 2%	0,73	↓ 8,96%	0,67	
75mm B 0%	0,58	↑ 77,59%	1,03	
75mm B 1%	0,83	↑ 18,07%	0,98	
75mm B 2%	0,77	↑ 31,17%	1,01	
75mm BCL 0%	0,7	↑ 5,71%	0,74	
75mm BCL 1%	0,77	↑ 23,38%	0,95	
75mm BCL 2%	0,65	↑ 55,38%	1,01	

Percebe-se pela análise dos resultados que, de maneira geral, a diminuição do volume de descarga nominal impacta positivamente no aumento da velocidade de escoamento para as configurações com uso de ramais com diâmetro de 75 mm.

Na Tabela 6.4 são apresentados os resultados da influência da variação do volume de descarga nominal na velocidade de escoamento nas diferentes configurações na montagem inferior do coletor de esgoto.

Tabela 6.4 – Variação percentual da velocidade de escoamento no coletor de esgoto em m/s em função da mudança de volume de descarga nominal para a montagem do pavimento inferior nas diferentes configurações de ensaio

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE EM FUNÇÃO DO VOLUME DA BACIA SANITÁRIA				
PAVIMENTO INFERIOR				
COLETOR DE ESGOTO				
CONFIGURAÇÃO	6L		Variação	4,8L
100mm B 1%	1,56	↓	38,05%	1,13
100mm B 2%	1,25	↑	42,40%	1,78
100mm B 3%	1,31	↑	8,40%	1,42
100mm BCL 1%	1,2	↑	48,33%	1,78
100mm BCL 2%	0,76	↑	68,42%	1,28
100mm BCL 3%	1,66	→	0,00%	1,66
75mm B 1%	0,76	↑	81,58%	1,38
75mm B 2%	0,92	↑	26,09%	1,16
75mm B 3%	0,89	↑	115,73%	1,92
75mm BCL 1%	1,08	↑	2,78%	1,11
75mm BCL 2%	0,9	↑	50,00%	1,35
75mm BCL 3%	1,28	↑	44,53%	1,85

Igualmente aos ensaios realizados na montagem do pavimento superior dos ramais de descarga e de esgoto, a redução do volume de descarga é benéfica para o aumento da velocidade de escoamento da água, sobretudo, percebe-se aumento mais acentuado quando da utilização de tubulação de 75 mm.

Na Tabela 6.5 é apresentado o impacto da utilização de vazão em regime permanente quando da utilização da bacia sanitária sobre a velocidade de escoamento da água nos ramais de descarga e de esgoto.

Tabela 6.5 – Variação percentual da velocidade de escoamento no ramal de esgoto em m/s em função da presença de vazão em regime permanente na tubulação nas diferentes configurações na montagem do pavimento superior

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE EM FUNÇÃO DA PRESENÇA DE VAZÃO EM REGIME PERMANENTE			
PAVIMENTO SUPERIOR			
RAMAL DE DESCARGA E RAMAL DE ESGOTO			
CONFIGURAÇÃO	B	Variação	BCL
6L 100mm 0%	0,71	↓ 54,35%	0,46
6L 100mm 1%	0,51	→ 0,00%	0,51
6L 100mm 2%	0,82	↓ 12,33%	0,73
6L 75mm 0%	0,58	↑ 20,69%	0,7
6L 75mm 1%	0,83	↓ 7,79%	0,77
6L 75mm 2%	0,77	↓ 18,46%	0,65
4,8L 100mm 0%	0,76	↓ 33,33%	0,57
4,8L 100mm 1%	0,76	↓ 13,43%	0,67
4,8L 100mm 2%	0,59	↑ 13,56%	0,67
4,8L 75mm 0%	1,03	↓ 39,19%	0,74
4,8L 75mm 1%	0,98	↓ 3,16%	0,95
4,8L 75mm 2%	1,01	→ 0,00%	1,01

Em geral, observa-se o decréscimo da velocidade de escoamento ao introduzir o escoamento permanente de chuveiro e lavatório, quando do acionamento da descarga da bacia sanitária. O escoamento em regime permanente atrapalha o escoamento no ramal de esgoto da bacia sanitária.

A seguir, na Tabela 6.6, são apresentados os resultados da influência da presença de vazão em regime permanente sobre a velocidade de escoamento na montagem do pavimento inferior do coletor de esgoto.

Tabela 6.6 – Variação percentual da velocidade de escoamento no coletor de esgoto em m/s em função da presença de vazão em regime permanente na tubulação nas diferentes configurações na montagem do pavimento inferior

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE EM FUNÇÃO DA PRESENÇA DE VAZÃO EM REGIME PERMANENTE				
PAVIMENTO INFERIOR				
COLETOR DE ESGOTO				
CONFIGURAÇÃO	B	Variação	BCL	
6L 100mm 1%	1,56	↓ 30,00%	1,2	
6L 100mm 2%	1,25	↓ 64,47%	0,76	
6L 100mm 3%	1,31	↑ 26,72%	1,66	
6L 75mm 1%	0,76	↑ 42,11%	1,08	
6L 75mm 2%	0,92	↓ 2,22%	0,9	
6L 75mm 3%	0,89	↑ 43,82%	1,28	
4,8L 100mm 1%	1,13	↑ 57,52%	1,78	
4,8L 100mm 2%	1,78	↓ 39,06%	1,28	
4,8L 100mm 3%	1,42	↑ 16,90%	1,66	
4,8L 75mm 1%	1,38	↓ 24,32%	1,11	
4,8L 75mm 2%	1,16	↑ 16,38%	1,35	
4,8L 75mm 3%	1,92	↓ 3,78%	1,85	

No coletor de esgoto não se percebe correlação, da presença ou não de escoamento em regime permanente existente, sobre a velocidade do fluido.

A seguir, na Tabela 6.7 são apresentados os resultados do impacto da variação dos diâmetros das tubulações sobre a velocidade de escoamento nos ramais de descarga e esgoto para a montagem do pavimento superior.

Tabela 6.7 – Variação percentual da velocidade de escoamento no ramal de esgoto em m/s em função da redução dos diâmetros das tubulações para montagem do pavimento superior nas diferentes configurações de ensaio

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO NO DIÂMETRO DA TUBULAÇÃO				
PAVIMENTO SUPERIOR				
RAMAL DE DESCARGA E RAMAL DE ESGOTO				
CONFIGURAÇÃO	100mm	Variação	75mm	
6L B 0%	0,71	↓ 22,41%	0,58	
6L B 1%	0,51	↑ 62,75%	0,83	
6L B 2%	0,82	↓ 6,49%	0,77	
6L BCL 0%	0,46	↑ 52,17%	0,7	
6L BCL 1%	0,51	↑ 50,98%	0,77	
6L BCL 2%	0,73	↓ 12,31%	0,65	
4,8L B 0%	0,76	↑ 35,53%	1,03	
4,8L B 1%	0,76	↑ 28,95%	0,98	
4,8L B 2%	0,59	↑ 71,19%	1,01	
4,8L BCL 0%	0,57	↑ 29,82%	0,74	
4,8L BCL 1%	0,67	↑ 41,79%	0,95	
4,8L BCL 2%	0,67	↑ 50,75%	1,01	

Percebe-se que a redução do diâmetro do ramal de esgoto de 100 mm para 75 mm é benéfica para o aumento da velocidade de escoamento quando utilizada a bacia de volume reduzido de 4,8 L.

Por fim, na Tabela 6.8 são apresentados os resultados do impacto da variação dos diâmetros das tubulações sobre a velocidade de escoamento no coletor de esgoto para a montagem inferior.

Tabela 6.8 – Variação percentual da velocidade de escoamento em m/s em função da redução dos diâmetros das tubulações para montagem do pavimento inferior nas diferentes configurações de ensaio.

VARIAÇÃO DA VELOCIDADE EM FUNÇÃO DA				
PAVIMENTO INFERIOR				
COLETOR DE ESGOTO				
CONFIGURAÇÃO	100mm	Variação		75mm
6L B 1%	1,56	↓	105,26%	0,76
6L B 2%	1,25	↓	35,87%	0,92
6L B 3%	1,31	↓	47,19%	0,89
6L BCL 1%	1,2	↓	11,11%	1,08
6L BCL 2%	0,76	↑	18,42%	0,9
6L BCL 3%	1,66	↓	29,69%	1,28
4,8L B 1%	1,13	↑	22,12%	1,38
4,8L B 2%	1,78	↓	53,45%	1,16
4,8L B 3%	1,42	↑	35,21%	1,92
4,8L BCL 1%	1,78	↓	60,36%	1,11
4,8L BCL 2%	1,28	↑	5,47%	1,35
4,8L BCL 3%	1,66	↑	11,45%	1,85

Pelos resultados, percebe-se que a redução do diâmetro da tubulação é benéfica no coletor de esgoto quando do uso de bacia sanitária de volume reduzido de 4,8 L. Quando da utilização da bacia sanitária de 6 L, não se observa o mesmo benefício, sendo na verdade, prejudicial do ponto de vista da velocidade, a redução do diâmetro no coletor de 100 mm para 75 mm.

Ressalta-se, porém que a ordem de grandeza dos valores das velocidades, que são superiores a 0,75 m/s quando da utilização da bacia sanitária com VDN 6 L, habilitam a redução dos diâmetros, pois tais valores são superiores aos valores encontrados nas condições normatizadas de declividade 2%, diâmetro do coletor 100 mm e a presença de vazão proveniente do chuveiro e lavatório por exemplo.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, neste capítulo, são apresentadas, de forma sintetizada, as conclusões deste trabalho bem como são enfatizadas as condições de contorno da realização dos ensaios e apresentadas sugestões de propostas para continuação deste trabalho.

7.1 CONCLUSÕES

Conclui-se, portanto, que de maneira geral, para esta configuração estudada, a redução dos diâmetros de 100 mm para 75 mm e a redução do volume de descarga nominal da bacia sanitária de 6 L para 4,8 L podem ser ações benéficas para o aumento da velocidade de escoamento que, por consequência, poderão melhorar o desempenho do escoamento, sobretudo nos trechos iniciais do sistema, escopo deste trabalho, onde há grande energia cinética acumulada nos fluidos. Em ambas situações, na redução dos diâmetros de 100 mm para 75 mm e na redução do volume de descarga nominal da bacia sanitária de 6 L para 4,8 L, foram observados incrementos na velocidade de escoamento que como consequência pode melhorar o transporte de sólidos na situação real de utilização.

Observou-se durante a realização dos ensaios que os picos da altura da lâmina d'água não ultrapassaram em média 50 % da altura da seção transversal da tubulação, sobretudo nas tubulações de diâmetros reduzidos de 75 mm onde as condições são críticas pelo diâmetro da tubulação ser menor comparado a tubulação de 100 mm. Portanto o escoamento em todos os ensaios foi livre, não havendo nenhuma situação de escoamento em conduto forçado. Outro ponto a se destacar é que não foram observados efeitos de autosifonagem na bacia sanitária e nem sifonagem induzida no ralo sifonado, mesmo nas situações mais críticas de tubulação de 75 mm.

A declividade, na configuração estudada, não teve influência significativa na velocidade do escoamento nos trechos avaliados e, portanto, isso significa que embora a norma especifique declividade mínima para os trechos de tubulações, dentro de um banheiro residencial onde os espaços são bastante restritos, não se

percebeu danos ao sistema por baixa ou até ausência de declividade, situação muitas vezes encontradas na prática.

A presença de vazão em regime permanente concomitante ao escoamento proveniente da descarga da bacia sanitária reduziu a velocidade de escoamento do sistema e atuou de maneira prejudicial a energia cinética da onda para os casos ensaiados. Todavia, a redução dos diâmetros de 100 mm para 75 mm foi uma ação benéfica, melhorando as condições de escoamento e, portanto, evitando entupimentos nos trechos iniciais avaliados por esta pesquisa.

É importante destacar que as análises feitas valem para as condições de contorno de banheiro residencial em pequeno edifício de dois pavimentos e com banheiro instalado no andar superior. Os ramais de descarga e de esgoto são suficientemente pequenos para o critério principal de limpeza das tubulações ser função da velocidade de escoamento, isto é, distancias inferiores a 4 m.

Por fim, pelos resultados produzidos por este trabalho, conclui ser possível que há potencial para redução dos diâmetros de 100 mm para 75 mm para os ramais de esgoto e coletores do sistema predial de esgoto sanitário. No entanto, devem ser realizados ensaios que considerem o transporte de sólidos e ensaios que considerem as características de uso da população.

7.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados aqui expressos não devem ser usados indistintamente de maneira generalizada em condições diferentes das citadas neste trabalho, principalmente nos trechos mais distantes da bacia sanitária, onde há atenuação da energia cinética das ondas e os mecanismos gravitacionais como tensão trativa passam a ser preponderantes.

Portanto, sugerem-se ensaios que extrapolem as condições de contorno consideradas nesta pesquisa como por exemplo cenários considerando múltiplos pavimentos de um edifício residencial e também em trechos de coletores de esgoto superiores a 4 m.

Sugerem-se a realização de estudos laboratoriais com mídias sólidas com o objetivo de verificar o transporte de sólidos nas condições em escala real.

Destaca-se também ser importante a realização de estudos de campo para a validação dos resultados aqui apresentados considerando as condições reais de uso da população.

Por fim, sugere-se que os dados produzidos neste trabalho sejam usados em pesquisas com o emprego de métodos de simulação computacional, onde as condições de ensaio podem ser extrapoladas para infinitas combinações.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: 2013. Brasília: ANA, 2013. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/ANA_Conjuntura_Recursos_Hidricos_Brasil/ANA_Conjuntura_Recursos_Hidricos_Brasil_2013_Final.pdf>. Acesso em: 30 de jan. 2017.
- ALLON, F.; SOFOULIS, Z. Everyday Water: cultures in transition. **Australian Geographer**, v. 37, n.1, p. 45-55, março 2006.
- AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. **A112.19.2**: Ceramic plumbing fixtures. Nova Iorque: Asme, 2013. 86 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15097**: Aparelhos sanitários de material cerâmico – Parte 1: Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649**: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. São Paulo: ABNT, 1986. 7 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160**: Sistemas prediais de esgoto sanitário – projeto e execução. Rio de Janeiro, 1999.
- CHENG, L. Y.; OLIVEIRA, L. H.; FAVERO, E. H. **Particle-based numerical analysis of drainage flow inside building system**. In: CIB W62 Symposium on Water Supply and Drainage for Buildings, 2012, Edinburgh. The 38th International Symposium CIB W062 on Water Supply and Drainage for Buildings. Edinburgh, Scotland. 27-30 Aug. 2012. p.227 – 238.
- COLUSSI, S. S. Avaliação do Consumo de água em pontos de utilização de apartamentos, 2009. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2009. Relatório Final (Iniciação Científica). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2009.
- DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Plano Diretor de Aproveitamento de recursos hídricos para a macrometrópole paulista**: relatório final - volume I. São Paulo: Cobrape, 2013. Disponível em: <www.daee.sp.gov.br> Acesso em: 01 de out. 2015.
- GEORGE, R. Drainline Transport & Scalding Issues Associated with Low Flow Fixtures. In: DRY DRAINS FORUM - IT'S NOT EASY BEING GREEN, n. 1. 2009. Frankfurt, Alemanha. **Proceedings**...Frankfurt: 2009.
- HUNTER, R.B. **Methods of estimating loads in plumbing systems**. Maryland, EUA: National Bureau of Standards, Building Materials and Structures, 1940. (Report BMS 65, 1940).
- I. P. VALENCIO, O. M. GONCALVES. INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF CIB W062 ON WATER SUPPLY AND DRAINAGE FOR BUILDINGS, 42nd CIB, 2016, Kosice, Eslováquia. Field evaluation of housing units with low flush toilet (4,8 L/flush) installed:

water consumption monitoring and damage verification in the drainage system performance. **Proceedings...** Eslováquia, 2016.

KELLY D.A. & FONG, D. INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF CIB W062 ON WATER SUPPLY AND DRAINAGE FOR BUILDINGS, 41nd CIB., 2015, Beijing, China. **Water conservation: the implications of user awareness, attitude, and behavior Proceedings...** China, 2015.

McDOUGALL, J.A.; SWAFFIELD, J.A. The influence of water conservation on drain sizing for building drainage systems. **Building Services Research and Technology**, v. 24, n.4 p, 229-243. 2007

McDOUGALL, J.A.; SWAFFIELD, J.A. Simulation of building drainage under water conservation. **Building Services Research and Technology**, v. 21, n.1 p, 41-51. 2000

OLIVEIRA, L.H. **Estudo do escoamento em condutores horizontais de coleta de esgotos sanitários de edifícios residenciais.** São Paulo, 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

PERC. Plumbing Efficiency Research Coalition. The Drainline Transport of Solid Waste in Buildings: Phase 1, 2012. Disponível em: <<http://www.plumbingefficiencyresearchcoalition.org/wpcontent/uploads/2012/12/Drainline-Transport-Study-PhaseOne.pdf>> Acesso em: 01 de fev. 2017.

PERC. Plumbing Efficiency Research Coalition. The Drainline Transport of Solid Waste in Buildings. Phase 2.1. 2016. Disponível em: <http://www.plumbingefficiencyresearchcoalition.org/wpcontent/uploads/2016/04/PERC-2-0_2-1-FINAL.pdf> Acesso em: 01 de fev. 2017.

SÃO PAULO (Município). Lei nº 14.018, de 28 de junho de 2005. Disponível em: <http://www3.prefeitura.sp.gov.br/cadlem/secretarias/negocios_juridicos/cadlem/pesqnu_mero.asp?t=L&n=14018&a=&s=&var=0>. Acesso em: 25 de jan. 2017.

SHOULER, Martin; THOMAS, Fiona. Water efficient housing in the UK. In: CIB W62 INTERNATIONAL SYMPOSIUM, 26. 2000, Rio de Janeiro, **Proceedings...** Rio de Janeiro: CIB, 2000, 10p.

SWAFFIELD, J.A. INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF CIB W062 ON WATER SUPPLY AND DRAINAGE FOR BUILDINGS, 35th CIB, 2009, Düsseldorf, Germany. **Dry drains: myth, reality or impediment to water conservation. Proceedings...** Germany, 2009.

SWAFFIELD JA, GALLOWIN, LS – Multistorey building drainage network design an application of computer based unsteady partially filled pipe flow analysis. **Building and Environment.** Jan. 1989, v. 24, n.1, p 99-110.

UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (WWAP). **The United Nation world development report 2015: water for sustainable world**. Paris: UNESCO, 2015. Disponível em:
<<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>>
Acesso em: 05 de fev. 2015.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY WATERSENSE PROGRAM. **EPA WaterSense: Tank-Type High-Efficiency Toilet Specification**. Version 1.2 - Jun, 2014.
WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**. 4^a Edição. Genebra: WHO Press, 2011. Disponível em:
<http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241548151_eng.pdf?ua=1>
Acesso em: 5 de fev. 2017.

VALÊNCIO, I.P. **Desempenho do sistema predial de água e esgoto sanitário com uso de bacias sanitárias de volume de descarga de 4,8 litros**. São Paulo, 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.