



# **GERAÇÃO DE ONDAS EM COLETORES DE ESGOTO PARA ASSEGURAR A AUTOLIMPEZA: TECNOLOGIA DGD**

**Wolney Castilho Alves<sup>(1)</sup>, Luciano Zanella<sup>(2)</sup>**

<sup>1,2</sup>Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT/Pesquisador, Av. Prof. Almeida Prado, 532, Cidade Universitária USP, São Paulo, SP, CEP 05508-901, Brasil.

<sup>1</sup> [wolneipt@ipt.br](mailto:wolneipt@ipt.br)

## **RESUMO**

A Tecnologia DGD é aplicável às redes coletora de esgoto de sistema separador absoluto em áreas de topografia plana. A geração de descargas de esgoto proporcionada pelo Dispositivo Gerador de Descargas (DGD) produz escoamento sob a forma de ondas que propicia a drástica redução das declividades de assentamento da tubulação com manutenção da propriedade de autolimpeza. Em consequência permite implantação e operação de redes coletora a custos significativamente reduzidos comparativamente às redes implantadas sob a égide da normalização brasileira.

O artigo apresenta os resultados da validação em campo. Trecho piloto de rede coletora implantada na cidade do Guarujá foi monitorada com atenção especial à verificação da propriedade de autolimpeza prevista na norma brasileira. Empregando a Tecnologia foi possível assentar a tubulação à declividade de 0,05%, valor cerca de 10 vezes menor que o previsto na norma brasileira. O monitoramento do desempenho do trecho piloto, com ênfase no critério de autolimpeza, permitiu concluir que a manutenção da autolimpeza se dá em largos períodos de operação e que, comparativamente às redes existentes e projetadas pela norma brasileira, exhibe padrão similar de desempenho. Conclui pela continuidade da implementação de maior envergadura em situação real de aplicação.

## **Palavras-Chave**

Esgoto, Rede Coletora, Autolimpeza, Baixo custo.

## **1. INTRODUÇÃO**

A propriedade de autolimpeza das tubulações de esgoto é quesito da maior importância no seu desempenho. Estudos sobre o transporte de sedimentos nesses dutos contam com extensa bibliografia, embora, nas aplicações práticas, predominem as prescrições técnicas simplificadoras relativas à declividade e à velocidade, às vezes referidas às dimensões de partículas sólidas [1], [2], [3], [4], [5], [6].

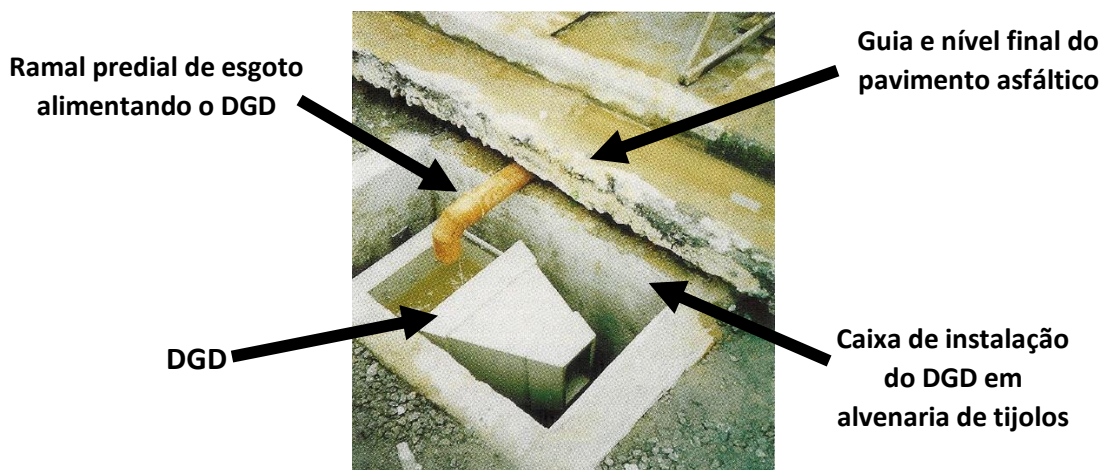
**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

A norma brasileira NBR 9649:1986 – Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário – Procedimento [7], adota a tensão trativa, ou de arraste, como parâmetro determinante da declividade da tubulação.

O presente artigo mostra que a geração de ondas no interior das tubulações de esgoto promove escoamentos nos quais os valores de tensão trativa média alcança o valor mínimo necessário para o transporte de sedimentos mesmo em tubulações assentadas em declividades bastante menores que aquelas ditadas por critérios usuais [8], [9], ou pela norma brasileira NBR 9649:1986, por exemplo [7].

A geração de ondas na tubulação é obtida pela Tecnologia DGD, sigla do Dispositivo Gerador de Descargas. O DGD, alimentado por esgoto doméstico, descarrega automaticamente na tubulação gerando onda, cuja frente íngreme tem boa propriedade de arraste de sólidos. A Figura 1 mostra um DGD instalado dentro de caixa de alvenaria em rede coletora piloto na cidade do Guarujá.



*Figura 1 – Dispositivo gerador de descarga (DGD) instalado em rede coletora piloto na cidade do Guarujá.*

A Tecnologia DGD tem particular importância na aplicação em áreas planas. Nessas áreas observa-se que em extensões relativamente pequenas a tubulação coletora já atinge a profundidade limite, tornando necessária estação elevatória de esgoto (EEE).

## 2. OBJETIVOS

O presente artigo tem por objetivo apresentar resultados de avaliação de desempenho de rede coletora de esgoto dotada da Tecnologia DGD, implantada em caráter piloto, com destaque para o requisito de autolimpeza. Adicionalmente, compara os valores da declividade de assentamento da tubulação e de custos entre o trecho piloto e os respectivos valores de rede convencionalmente projetada para o mesmo trecho em observância à norma brasileira NBR 9649:1986 [7].

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

**3. METODOLOGIA**

Os resultados são obtidos na aplicação piloto da Tecnologia DGD em área plana, em pequeno trecho de cabeceira de extensa rede coletora, cuja implantação estava em curso na cidade do Guarujá, estado de São Paulo, Brasil [10], sob responsabilidade da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp que opera os serviços de saneamento na cidade.

A aplicação piloto se constitui de trecho retilíneo na cabeceira da rede coletora de sistema separador absoluto, com 316 m de extensão. A Tecnologia DGD foi aplicada nesse trecho empregando o programa de simulação de escoamento de ondas em regime não uniforme e procedimentos associados, conforme descrição mais detalhada apresentada pelos autores ao SEREA19 [11]. A declividade de assentamento da tubulação no trecho foi 0,05% (0,0005 m/m) e a tensão trativa média calculada no projeto apresentou valor mínimo de 1 Pa em toda extensão do trecho. A Figura 2 ilustra as principais características do trecho piloto.

O trecho recebeu um dispositivo gerador de descargas, DGD, de 80 L de capacidade de descarga na extremidade de cabeceira e outro a 108 m da cabeceira da rede, de 40 L, instalado no interior de um poço de visita de anéis de concreto.



*Figura 2. Esquema do trecho coletor de cabeceira na instalação piloto de teste da Tecnologia DGD no Guarujá.*

Três requisitos técnicos foram escolhidos para o comparativo de desempenho: profundidades de assentamento da tubulação, custos de implantação e autolimpeza das tubulações.

Na avaliação dos custos foi adotada simplificação. Adotou-se a hipótese de que em ambas situações as redes contariam com o mesmo número de singularidades com diferenças de profundidades desprezíveis. Igualmente, as diferenças relativas aos custos de escoramentos e drenagem de valas foram desprezadas.

A característica central observada no escoamento é o movimento do esgoto sanitário no sentido pretendido e a eventual presença de depósitos de sólidos. Adicionalmente, é

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

observada a presença de material sobrenadante, como é o caso de óleos, gorduras e materiais discretos eventualmente flutuando. Observações indiretas por meio de câmera introduzida no interior das tubulações permitem observação, mas bastante limitadas. Por essa razão, a visualização indireta por câmeras não é aqui considerada.

A autolimpeza é requisito central e requer análise detalhada. O principal trabalho que deu suporte à inserção desse critério na NBR 9649:1986 é resultado dos estudos realizados por J. Machado Neto e M. Tsutiya [6]. Tendo como referência central tais estudos, pode-se entender que a autolimpeza é a propriedade de materiais sólidos particulados presentes no esgoto e de maior densidade que a da água não depositarem continuamente no fundo da tubulação, fenômeno que deve ser verificado ao longo de longo período de operação.

Dada a alta variabilidade das características do escoamento do esgoto sanitário nesses trechos da rede, é preciso ter presente que a formação de depósitos em determinado período diminuto, por exemplo 24 h, não permite concluir que a propriedade de autolimpeza foi ou não observada, pois o transporte ocorre em sucessivas pequenas ondas de escoamento bastante variadas ao longo do tempo de operação da rede. Portanto, os fenômenos de obstruções parciais e totais devem se referir a observações durante períodos dilatados de tempo.

No que respeita ao critério técnico de projeto, a norma brasileira NBR 9649:1986 [7] estabelece que a propriedade de autolimpeza das tubulações está assegurada pela adoção de declividade mínima de assentamento que assegure valor de tensão trativa média de valor mínimo  $\sigma_t = 1,0$  Pa.

As declividades e profundidades de assentamento da tubulação foram definidas no projeto executivo da aplicação piloto e garantidas em campo mediante construção assistida por instrumentos de nível ótico.

No que refere aos custos, a simplificação adotada permitiu realizar a verificação por simples comparação de profundidades de escavação entre sistemas projetados pela NBR:9649 e sistemas dotados da Tecnologia DGD.

A propriedade de autolimpeza foi verificada por observação visual direta a partir dos poços de visita (PV) e poços de inspeção (PI) ilustrados na Figura 2. Retirada a tampa de ferro fundido dessas singularidades é possível visualizar o escoamento nas respectivas canaletas. As observações do escoamento, de deposição de sedimentos e de adesão de óleos e gorduras foram realizadas semanalmente por um período de 5 meses, em 4 pontos de inspeção: 3 poços de inspeção PI-1, PI-2 e PI-3 e 1 PV na extremidade do trecho.

O início do monitoramento por observações diretas foi precedido por operação de hidrojateamento de toda extensão sob teste por meio de caminhão dotado do equipamento denominado *sewer-jet* o que permitiu iniciar o período de observações sem nenhum tipo de deposição ou adesão em todo o trecho [10].

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

**4. RESULTADOS**

O projeto original do trecho de cabeceira elaborado com base na NBR 9649:1986 estabeleceu declividade de 0,45% (0,0045 m/m). Empregando a Tecnologia DGD a observância do mesmo critério permitiu a implantação com declividade 0,05% (0,0005 m/m). Em resumo:

- ✓ Utilizando a Tecnologia DGD → (1 Pa, 0,05%)
- ✓ Com base no critério da NBR 9649:1986 → (1 Pa, 0,45%)

Portanto, a declividade de assentamento, para o mesmo critério de autolimpeza, é quase 10 vezes menor quando se emprega a Tecnologia DGD.

Em decorrência do resultado anterior, as profundidades e correspondentes custos de implantação levam aos resultados:

- ✓ Profundidade de assentamento da extremidade de jusante do trecho piloto da tubulação empregando a Tecnologia DGD → 1,208 m
- ✓ Profundidade de assentamento da extremidade de jusante do trecho piloto da tubulação empregando a NBR 9649:1986 → 2,472 m

Como os custos de implantação, na simplificação adotada, são proporcionais à profundidade de escavação de valas, tem-se que os custos de implantação do trecho são, no mínimo, 51% menores utilizando a Tecnologia DGD.

Os resultados das observações do critério de autolimpeza requerem descrição mais minuciosa. No período entre o primeiro e o segundo mês de observação, constatou-se a manutenção das características quanto à autolimpeza do trecho. Constatou-se baixo nível de deposição de sólidos discretos, areia fina predominantemente, no fundo das canaletas, mas denotando uma condição chave: a flutuação na quantidade, ou espessura, de sedimentos depositados, varia segundo o dia e a hora em que é feita a visualização. Tal fenômeno pode ser considerado esperado dentro de certos limites já que o escoamento nesses segmentos de cabeceira é originado unicamente pelas descargas do DGD e das ligações prediais de esgoto. Há, assim, variação significativa durante o período de 1 dia, bem como ao longo do ano, segundo a sazonalidade.

Observou-se ao longo do período de monitoramento que o poço de inspeção PI-1 a jusante do DGD de extremidade mostrou um nível um pouco mais elevado de areia fina no fundo da canaleta e de aderência de óleos e gorduras às paredes laterais. Contudo, a deposição de areia fina não teve caráter cumulativo que levasse à obstrução. As observações desse segmento do trecho coletor merecem especial atenção, pois, a adesão de material flutuante, e a ação combinada desse material com os sólidos presentes, não são, em primeira aproximação, considerados de forma adequada no critério de autolimpeza.

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

Nas observações em campo, a formação de incrustação de óleos, gorduras e sabões se mostrou cumulativa, formando linhas longitudinais de material aderido à tubulação nas superfícies de contato do líquido sob escoamento com a parede do tubo. Essas formações tiveram maior importância no segmento distante 30 a 40 m do DGD de cabeceira até o PI-1.

A observação visual pelos poços, a jusante do DGD intermediário, mostrou a presença de depósitos de areia fina bastante diminutos, não cumulativos, e sem evidência de aderência de óleos e gorduras.

A observação continuada ao longo do período de monitoramento permite concluir que o comportamento da sedimentação de particulado sólido foi compatível com o regime esperado, ou seja, deposições temporárias são transportadas gradativamente a jusante à medida que o escoamento originado das descargas dos DGDs em conjunto com as descargas das ligações prediais as arrasta.

## **5. ANÁLISE E CONCLUSÕES**

O comparativo de custos mostra que as declividades de assentamento influenciam diretamente nos custos de implantação. Cálculos realizados mostraram que a incidência do custo de implantação de estação elevatória de esgoto (EEE) é aproximadamente 8 vezes menor empregando a Tecnologia DGD.

As deficiências quanto à autolimpeza no segmento inicial do trecho coletor devem ser melhor analisadas e relativizadas.

A composição do esgoto das descargas do DGD de cabeceira ofereceu indícios para a análise. Esse dispositivo foi alimentado pelos efluentes de uma pizzaria de funcionamento noturno, de um salão de cabelereira e de alguns pequenos escritórios. A quantidade de óleos, gorduras, detergentes e sabões lançadas no DGD de cabeceira foi muito grande. Já o DGD intermediário recebia os despejos de um quartel militar de uso ininterrupto, com pequena quantidade de gordura, além das águas residuárias descarregadas de bacias sanitárias.

Com base nessas evidências foi possível concluir que os problemas no segmento inicial de 108 m foram ocasionados, parcial ou integralmente, pela composição do esgoto nele lançado pelo DGD. A mistura de óleos, gorduras, detergentes e sabões deu origem à formação de incrustações longitudinais no nível da linha d'água que interagiram com o material particulado composto quase que integralmente por areia fina. Supõe-se que descargas subsequentes durante o período diurno, com menor quantidade de óleos e gorduras, permitiram o arrastamento consecutivo de pequenas deposições de sólidos discretos.

Os volumes e a frequência de descargas dos DGDs, também denotaram influências. O DGD de extremidade foi alimentado por descargas prediais em frequência e volume menor do que se previu no projeto do trecho mostrando que os efeitos da sazonalidade foram mais fortes que os previstos.

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

Guarujá é uma cidade típica de veraneio à beira-mar. Dessa forma, a variação ocupacional é muito intensa e a população flutuante provoca alterações sensíveis nos serviços públicos. Esse fenômeno diz respeito desde o período de veraneio, propriamente dito, até os finais de semana. As férias escolares no Brasil se dão em julho e em dezembro e janeiro, incluindo para uma parcela parte de novembro e parte de fevereiro. Além disso há variação também aos sábados, domingos e feriados prolongados. Esses fatores tiveram impactos maiores que os previstos na fase de planejamento.

O projeto do DGD de cabeceira levou à capacidade volumétrica de 80 L, valor que se mostrou relativamente alto frente ao volume e frequência das descargas prediais previstas na alimentação do DGD. Como a ação de descarga se dá pelo preenchimento do volume pelas descargas prediais que alimentam O DGD, a baixa atividade no centro comercial teve peso suficiente para dar lugar aos problemas observados no segmento inicial de 108 m. Em resumo, o número de ações de descarga do DGD foi aquém do esperado.

Adicionalmente, os efeitos da sazonalidade se manifestaram também nas demais ligações prediais cobertas pelo trecho coletor piloto. Ocorreu, portanto, efeito cumulativo que levou à operação sob condições extremamente críticas na medida em que o escoamento em todo o segmento inicial de 108 m se deveu em grande parte do tempo ao reduzido número de descargas do DGD, com poucas contribuições pelos ramais prediais de esgoto das residências cobertas pelo segmento de rede coletora.

Um fato de grande importância à avaliação deve ser registrado. A equipe que participou do monitoramento foi composta por técnicos do IPT e da Sabesp que tem experiência na operação de redes coletoras de esgoto em áreas litorâneas planas. Dessa forma, foi possível estabelecer uma avaliação de desempenho do trecho piloto relativamente ao que ocorre nas redes coletora projetadas, implantadas e operadas com base na normalização brasileira. Concluiu-se, em síntese, que a frequência e a natureza das observações efetuadas no trecho piloto ocorrem na mesma medida, recorrentemente registrada, na operação das redes coletoras sob a égide da normalização brasileira.

Diante dos resultados alcançados nesse processo de validação em campo, recomenda-se que a pesquisa tenha continuidade por meio de novas aplicações experimentais em situação real de aplicação, agregando os ganhos de conhecimento da aplicação aqui relatada.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, à Heriot-Watt University, Department of Buildings, à Fapesp - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, à Sabesp – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo e ao The British Council, pelo suporte às pesquisas que dão base ao presente artigo.

**SMART WATER:**

Transición hacia sistemas inteligentes, sostenibles y resilientes

**REFERÊNCIAS:**

- [1] SAFARI, M. J. S.; MOHAMMADI, M. M. et GHANI, A. Ab. “Experimental Studies of Self-Cleansing Drainage System Design: A Review”. [Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice](#) 9(4):04018017, 2018.
- [2] BONG, C. H. J. “A Review on the Self-Cleansing Design Criteria for Sewer System”. UNIMAS e-Journal of Civil Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Malaysia Sarawak, 94300, Kota Samarahan, Sarawak, Malaysia, Published: 1st October 2014.
- [3] GOORMANS, T.; ENGELEN, D.; BOUTELIGIER, R. et P. Willems e BERLAMONT, J. “Design of self-cleansing sanitary sewer systems with the use of flushing devices”. *Water Science & Technology—WST*, 60.4, pp. 901-908, 2009.
- [4] OTA, J. J. et NALLURI, C. “Urban Storm Sewer Design: Approach in Consideration of Sediments”. [Urban Storm Sewer Design: Approach in Consideration of Sediments | Journal of Hydraulic Engineering | Vol 129, No 4 \(ascelibrary.org\)](#)
- [5] BUTLER, D.; MAY, R. et ACKERS, J. “Self-Cleansing Sewer Design Based on Sediment Transport Principles.” *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol 129, No 4 Published online: March 14, 2003.
- [6] OLIVEIRA, J. G. et TSUTIYA, M.T. . “Tensão trativa: um critério econômico para o dimensionamento das tubulações de esgoto”. *Revista DAE*, São Paulo, ed. 140, 1985.
- [7] ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 9649:1986 – Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário – Procedimento. ABNT, Rio de Janeiro, 1986.
- [8] SHAHSAVARI, G.; ARNAUD-FASSETTA, G.; BERTILOTTI, R. et CAMPISANO, A.. “Bed evolution one-episode flush Paris, *International Journal of Civil Engineering, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, World Academy of Science, Engineering, and Technology, 2015, 9 (7), pp.868-878.
- [9] SHIRAZI, R.; WILLEMS, P. et BERLAMONT, J.. “Application of Flushing Tanks in Simple Sewer Networks for In-Sewer”. *Journal of Water Management Modeling*, January 2010; pp. 85 – 106.
- [10] ALVES, W.C., “Monitoramento do desempenho de trecho coletor de esgoto assentado a declividade reduzida e dotado de dispositivos geradores de descarga (DGD)”, Relatório Técnico IPT 57.323, 2002, não publicado.
- [11] ALVES, W. C. et ZANELLA, L.. “Modelagem computacional do escoamento de esgoto em redes coletoras assentadas em declividades drasticamente reduzidas usando as equações de Saint Venant e de Boussinesq”. Dídia Covas, Laura Monteiro, Joana Carneiro (Eds) (2019). Atas do XVI Seminário Ibero-americano sobre Sistemas de Abastecimento e Drenagem. Técnico. Lisboa, 15-17 Julho 2019. ISBN: 978-972-98994-6-1.