

Avaliação do Coeficiente de Retorno Esgoto/Água numa Rede de Esgoto Sanitário

Robert Schiaveto de Souza⁽¹⁾

Mauro Polizer⁽²⁾

Manoel Afonso Costa Rondon⁽³⁾

Luiz Augusto Araújo do Val⁽⁴⁾

Jorge Gonda⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos / USP. Professor Adjunto do Departamento de Hidráulica e Transportes do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

⁽²⁾ Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de Lins e Mestre em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Professor Titular do Departamento de Hidráulica e Transportes do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

⁽³⁾ Engenheiro Civil e Mestre em Tecnologias Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Professor Adjunto do Departamento de Hidráulica e Transportes do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

⁽⁴⁾ Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Uberlândia e Mestre em Planejamento de Transportes pelo Instituto Militar de Engenharia - IME. Professor Assistente do Departamento de Hidráulica e Transportes do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

⁽⁵⁾ Engenheiro Civil e Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos - USP. Professor Titular do Departamento de Hidráulica e Transportes do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia - Departamento de Hidráulica e Transportes - Cidade Universitária S/N - Caixa Postal 549 - CEP: 79070-900 - Campo Grande - MS - Brasil - Tel: (0xx67) 3345-7490 - Fax: (0xx67) 3345-7450 - e-mail: rssouza@nin.ufms.br.

Resumo: Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o coeficiente de retorno para a rede coletora de esgoto da cidade de Campo grande por meio da medição de volumes de água consumida e de esgoto produzido em áreas representativas previamente selecionadas. Foram efetuadas medidas de campo para avaliar e comparar os consumos de água registrados por hidrômetros instalados nos ramais prediais e os volumes de esgoto obtidos por meio de medidores de vazão de conduto livre instalados nos poços de visita, em áreas representativas da rede de esgoto da cidade de Campo grande A pesquisa realizada para avaliar a relação esgoto/água a partir de consumos de água registrados por hidrômetros instalados nos ramais prediais e dos volumes de esgotos obtidos por meio de medidores de vazão de conduto livre instalados nos poços de visita, em áreas representativas previamente selecionadas, permitiu concluir que o coeficiente de retorno médio para a rede coletora de esgotos da cidade de Campo Grande está entre 0,71 e 0,85 com 90% de confiança.

Palavras-Chave: Coeficiente de retorno. Relação Esgoto/Água. Campo Grande.

Introdução

Uma rede de distribuição de água é a parte do sistema de abastecimento formada de tubulações e órgãos acessórios, destinada a colocar água potável à disposição dos consumidores de forma contínua, em quantidade e pressão recomendadas.

Uma rede de esgoto sanitário é definida como o conjunto de obras e instalações destinadas a propiciar a coleta e o afastamento do esgoto de forma contínua e sem riscos para a saúde.

Os volumes de consumo de água e contribuição de esgoto geralmente são diferentes porque nem toda a água consumida retorna à rede coletora em forma de esgoto, e nem todo o esgoto é proveniente do consumo de água. Por exemplo, a água evaporada, a consumida em caldeiras a vapor e indústrias, àquela utilizada no combate de incêndios, em gramados, jardins, hortas, limpeza de ruas, lavagens de pisos externos e de veículos, não chegam aos coletores de esgoto. Por outro lado, a rede de esgoto pode receber contribuições não provenientes do sistema de abastecimento, como infiltrações das águas de chuva e do lençol freático que passam para o interior do sistema de esgoto, geralmente através dos coletores e dos poços de visita, além de despejos provenientes de consumidores com abastecimento próprio.

Portanto, embora haja uma nítida correlação entre o consumo de água e a contribuição de esgoto, a quantidade de água consumida que chega ao coletor de esgoto deve ser determinada depois de cuidadosas considerações das condições locais.

A relação entre o volume de esgoto produzido e o de consumo de água denomina-se coeficiente de retorno e é variável no tempo e no espaço. Inexistindo dados locais comprovados oriundos de pesquisa, a Associação Brasileira de Normas Técnicas recomenda a utilização de um coeficiente de retorno igual 0,8.

Devido aos questionamentos a respeito do valor do coeficiente de retorno adotado para a rede coletora de esgoto de Campo Grande, foi firmado um convênio entre a Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, a Fundação de Apoio à Pesquisa, ao Ensino e à Cultura - FAPEC e a empresa Águas Guariroba S/A, visando avaliar a relação esgoto/água.

Materiais e Métodos

A metodologia adotada para a pesquisa consiste de experimentos de campo para medir, avaliar e comparar os consumos registrados por hidrômetros instalados antes e depois do dispositivo eliminador de ar, uma vez que a influência de algumas variáveis é de difícil reprodução em testes laboratoriais, como a topografia, topologia e geometria da rede, a existência de ramais e instalações prediais, tempo de manobras de esvaziamento e enchimento, existência de caixas d'água prediais, quantitativo de pontos de consumo, operação de dispositivos especiais (ventosas, descargas e suspiros), e outros.

Medidor de Água

A medição de consumos de água foi realizada por meio de hidrômetros velocimétricos, utilizados nas unidades consumidoras de Campo Grande.

Os medidores velocimétricos possuem uma turbina que é acionada pelo fluido em movimento. Na turbina do medidor, a velocidade é transformada em pulsos proporcionais a sua intensidade e transmitidos a um totalizador de volumes.

Os hidrômetros são aferidos na bancada volumétrica de teste de hidrômetros da empresa Águas Guariroba S/A, sob a fiscalização de um representante do Instituto Nacional de Metrologia - INMETRO.

A figura 1 apresenta um tipo de hidrômetro utilizado pela Águas Guariroba S/A.



Figura 1: Hidrômetro velocimétrico.

Medidor de Esgoto

A medição do volume de esgoto foi realizada utilizando medidores de vazão de conduto livre (figura 2) instalados em pontos estratégicos do sistema, nos poços de visita da rede de esgoto.

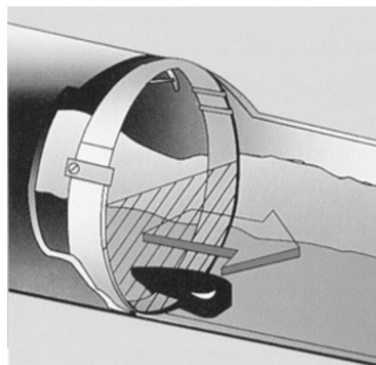


Figura 2: Medidor de esgoto de conduto livre.

Os medidores de vazão de esgoto utilizados foram do tipo área x velocidade, modelo 260 Flo-Tote™, da Marsh-McBirney, Inc. - MMI, com armazenamento de dados (datalogger) para a medição de vazão no local, com obtenção simultânea de velocidade e nível, permitindo o cálculo da vazão e seu sentido, pela equação da continuidade ($Q = V.A$). Possuem faixa de trabalho de -1,5 a + 6,1 m/s; precisão de $\pm 2\%$ da leitura; e resolução de 0,03m/s.

Os valores de velocidade são obtidos por sensor eletromagnético (Lei de Faraday), e de nível por transdutor piezoelétrico, em intervalos previamente determinados. Os sinais elétricos gerados pelos sensores são amplificados e convertidos em sinais digitais. Estas informações são imediatamente registradas pelo armazenador de dados, de onde podem ser transferidas para um computador portátil (Figura 3).

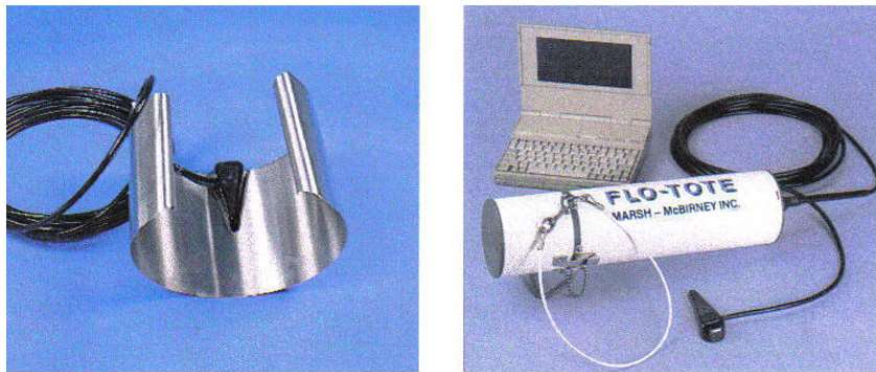


Figura 3: Sensor eletromagnético, cinta de aço inox, armazenador de dados e computador portátil.

A fixação do sensor eletromagnético, com perfil hidrodinâmico, é feita na cinta expansível de aço inox instalada no coletor de esgoto com acesso através do poço de visita (figura 4).



Figura 4: Instalação do medidor de esgoto através do poço de visita.

Os componentes eletrônicos do medidor estão em gabinete de poliéster reforçado com fibra de vidro, proteção NEMA 4X (figura 5).



Figura 5: Armazenador de dados.

Este equipamento mede vazão com precisão, mesmo em grandes variações, em canais circulares, retangulares, ovais, trapezoidais ou outros. O medidor utilizado não exige construções e reformas e não retém sólidos. Com a geometria da canalização, associada às medições de nível e velocidade, obtém-se com precisão a vazão de condutos parcialmente cheios, cheios ou afogados e até com refluxo, dispensando valores de declividade e rugosidade. O nível e a velocidade são medidos na mesma secção e não sofrem influência da densidade ou de sólidos

carreados. Seu sensor compensa o erro de medição de nível causado pela variação da temperatura.

Coefficiente de Retorno Esgoto/Água

O coeficiente de retorno (C) é a relação média entre o volume de esgoto produzido e de água efetivamente consumida. Entende-se por consumo efetivo aquele registrado na micromedição da rede de distribuição de água descartando-se as perdas no sistema de abastecimento. Parte desse volume efetivo não chega aos coletores de esgoto, pois conforme a natureza do consumo perde-se por evaporação, infiltração ou escoamento superficial. Além disso, é conveniente a investigação da existência de outras fontes de abastecimento de água, que podem elevar o volume de esgoto produzido até mesmo acima do volume registrado nos hidrômetros, caso de indústrias, hospitais e outros contribuintes singulares.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 9649), recomenda a utilização de um coeficiente de retorno igual 0,8 quando inexistem dados locais oriundos de pesquisas.

A Tabela 1 apresenta valores de coeficientes de retorno medidos ou recomendados para projeto.

Tabela 1: Coeficientes de retorno medidos ou recomendados para projeto.

Autor	Local	Ano	Coefficiente de retorno	Condição de obtenção dos valores
José A. Martins	São Paulo	1977	0,7 a 0,9	Recomendações para o projeto
Azevedo Neto	São Paulo	1981	0,7 a 0,8	Recomendações para o projeto
NBR 9649 - ABNT	Brasil	1986	0,8	Recomendações para o projeto
Luis P. Almeida Neto Gilberto O. Gaspar João B. Comparini e Nelson L. Silva	Cardoso, Guarani D'Oeste e Valentim Gentil (Estado de São Paulo)	1989	0,35 a 0,68	Medições em sistemas operando há vários anos
SABESP	São Paulo	1990	0,85	Recomendações para projeto "Plano Diretor de Esgoto da Região Metropolitana de São Paulo"
João B. Comparini	Cardoso, Pedranópolis, Guarani D'Oeste e Indiaporã (Estado de São Paulo)	1990	0,42 a 0,73	Medições em sistemas operando há vários anos
Milton T. Tsutiya e Orlando Z. Casserati	Tatuí (Estado de São Paulo)	1995	0,52 a 0,84	Medições em sistemas operando há vários anos
Steel	EUA	1960	0,7 a 1,3	Para as condições norte-americanas
Fair, Geyer & Okun	EUA	1968	0,6 a 0,7	Recomendações para projeto
Metcalf & Eddy Inc.	EUA	1981	0,7	Recomendações para projeto
Sobrinho & Tsutiya	Brasil	2000	0,5 a 0,9	Para as condições brasileiras
Fernandes	Brasil	1997	0,6 a 1,3	Para as condições brasileiras

Fonte: Adaptada de Tsutiya, M.T. e Além Sobrinho, P., 1999.



Procedimento Experimental

A metodologia adotada para a pesquisa consiste em medir e avaliar volumes de esgoto e de consumos de água em áreas de contribuição selecionadas visando estimar a relação esgoto/água.

Para a escolha das áreas amostradas da rede coletora de esgoto de Campo Grande, foram identificadas regiões que permitissem a quantificação das unidades consumidoras contribuintes. Selecionou-se seis áreas de amostragem. Todas as informações referentes ao fornecimento de água e coleta de esgoto foram obtidas a partir do cadastro da empresa Águas de Guariroba S/A, que foi atualizado com uma pesquisa de campo para identificar ligações não cadastradas e usuários com sistema próprio de abastecimento.

A totalização do volume de água consumido em cada área foi obtida por meio de leituras dos hidrômetros, abrangendo o período de medição de esgoto, fornecidas pela empresa Águas Guariroba S/A. Na ausência de leitura de alguns consumos de água no período de estudo, foi considerado o valor medido em meses anteriores. Na impossibilidade da obtenção destes valores, considerou-se o volume de água estimado com base no consumo médio das unidades de mesma característica da área considerada. Este mesmo procedimento foi adotado para o caso de consumidores que possuíam abastecimento próprio.

Os medidores de vazão de esgoto foram instalados no final da rede coletora das respectivas áreas contribuintes junto aos poços de visita. A medição de vazão de esgoto nos pontos selecionados foi realizada durante um período mínimo de sete dias pela empresa Ercon Engenharia Ltda. Por meio do software Flo-Ware™, específico para o medidor de vazão, foram gerados os gráficos e as tabelas da presente pesquisa.

A frequência adotada para coleta de dados foi de 5 minutos com duração de 20 segundos de medição contínua. Esta frequência e duração de cada medição são padrões para este tipo de levantamento. Periodicamente foram realizadas inspeções no local de medição e limpeza dos sensores.

Para a determinação do coeficiente de retorno médio foram realizados, além das medições de consumo de água e do volume de esgoto coletado para cada área de contribuição, levantamentos de informações relativas ao tipo de consumidor; à ocorrência e quantidade de chuvas no período de estudo; e à existência de poços de água, sistemas individuais de esgoto e ligações não cadastradas de água e de esgoto.

Para a obtenção dos dados relativos às chuvas foram instalados pluviógrafos próximos às áreas amostradas. Os volumes de esgoto registrados, que sofreram influência das precipitações, foram corrigidos com base nos dados obtidos nos dias sem chuva.

Resultados e Discussões

A Tabela 2 apresenta os dados obtidos por meio das medições realizadas nas condições estabelecidas pela metodologia adotada. Nesta tabela, são apresentados os volumes de consumo de água e de esgoto produzido em cada uma das áreas selecionadas e os respectivos coeficientes

de retorno. Os dados apresentados na tabela foram obtidos em campo nos meses de setembro e outubro de 2003.

Tabela 2: Volumes de água e esgoto medidos e coeficientes de retorno.

Área	Volume de esgoto medido no período (m ³)	Volume de esgoto para correção devido à chuva (m ³)	Volume de Esgoto Corrigido (m ³)	Período de pesquisa (dias)	Volume de Esgoto (m ³ /dia)	Volume de Água (m ³ /dia)	Coefficiente de Retorno (C)
1	3928,393	185,421	3742,972	7	534,710	838,906	0,64
2	2399,526	110,420	2289,107	14	163,508	252,272	0,65
3	2191,828	113,996	2077,832	14	148,417	171,890	0,86
4	4340,115	407,009	3933,106	15	262,207	346,530	0,76
5	3485,130	150,823	3334,307	13	256,485	305,110	0,84
6	499,766	4,265	495,501	7	70,786	78,286	0,90

O maior coeficiente de retorno observado foi igual a 0,90 para a área 6, constituída exclusivamente de prédios de apartamentos. O menor coeficiente de retorno foi igual a 0,64 para a área 1, com predominância de edificações térreas. O valor médio da relação esgoto/água das áreas amostradas foi igual a 0,78 com desvio padrão igual a 0,11.

Para avaliar a hipótese da normalidade da distribuição dos dados utilizou-se a prova de Kolmogorov-Smirnov (K-S), que consiste na comparação das frequências acumuladas observadas e as calculadas pela distribuição normal, cujos valores são apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Teste de normalidade da amostra para o coeficiente de retorno.

i	Coefficiente de Retorno	Zi	Frequência Acumulada Relativa Teórica	Frequência Acumulada Relativa Observada	Módulo da diferença
1	0,64	-1,30	0,096801	0,166667	0,070
2	0,65	-1,20	0,115070	0,333333	0,218
3	0,76	-0,21	0,416834	0,500000	0,083
4	0,84	0,55	0,708840	0,666667	0,042
5	0,86	0,76	0,776373	0,833333	0,057
6	0,90	1,13	0,870762	1,000000	0,129

Analisando-se quantitativamente os valores apresentados na tabela 3, o máximo desvio entre a frequência acumulada teórica e a observada foi de 0,218. O maior desvio observado deve ser comparado com o valor limite do método (K-S), que depende do nível de confiança e do tamanho da amostra. Para uma confiança de 90% e um tamanho de amostra igual a 6, este valor é de 0,294. Portanto, os dados obtidos para o coeficiente de retorno seguem a distribuição normal, logo provas de significância, testes de hipóteses e estimativas de intervalos de confiança, podem ser realizados.

Com o objetivo de se fazer uma inferência estatística, ou seja, tirar conclusões sobre o universo pesquisado com base nos resultados observados em amostras deste universo, foi construído um intervalo de confiança para o coeficiente de retorno.

Para um número de amostras n igual a 6, o intervalo de confiança com 90% de probabilidade de conter o coeficiente de retorno para a rede de esgotos de Campo Grande varia de 0,71 a 0,85 com erro e igual a 9% em torno da média, obtido pela equação (1), onde S é o desvio padrão amostral e t é a distribuição de Student.

$$e = t \frac{S}{\sqrt{n}}$$

equação (1)



Os resultados obtidos por meio da medição de volumes de água consumida e de esgoto produzido, em áreas representativas selecionadas, indicam um coeficiente de retorno para a rede coletora de esgoto de Campo Grande, entre 0,71 a 0,85 com 90% de confiança.

Conclusão

A pesquisa realizada para avaliar a relação esgoto/água a partir de consumos de água registrados por hidrômetros instalados nos ramais prediais e dos volumes de esgotos obtidos por meio de medidores de vazão de conduto livre instalados nos poços de visita, em áreas representativas previamente selecionadas, permitiu concluir que o coeficiente de retorno médio para a rede coletora de esgotos da cidade de Campo Grande está entre 0,71 e 0,85 com 90% de confiança.

Referências Bibliográficas

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9649. Rio de Janeiro, 1986.
2. DACACH, N. G. *Sistemas urbanos de esgoto*. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois S.A., 1984. 257p.
3. FAIR, G. M.; GEYER, J. C.; OKUN, D. A. *Water and wastewater engineering*. New York: John Wiley & Sons, 1966.
4. FERNANDES, C. *Esgotos sanitários*. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 1996. 435p.
5. DI BERNARDO, L. *Comparação da Eficiência da Coagulação com Sulfato de Alumínio e com Cloreto Férrico - Estudo de Caso - VI SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*. 1994. Anais. Florianópolis, 1994.
6. GARCEZ, L. N. *Elementos de engenharia hidráulica e sanitária*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1988. 356p.
7. GLASS, G. V.; HOPKINS, K. D. *Statistical methods*. Boston: Allyn and Bacon, 1995. 674p.
8. HARADA, A. L.; FELIZATTO, M. R. *A variação dos valores de vazões máximas de esgotos domésticos, em comunidades do Distrito Federal*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. p. 73-81.
9. LEME, F. P. *Planejamento e projeto dos sistemas urbanos de esgotos sanitários*. São Paulo: CETESB, 1977. 213p.
10. NETO, E. P. *Ligações irregulares de esgotos devem ser tratadas como componentes das ações operacionais do saneamento e da saúde pública municipal*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. p. 1-8.
11. NETO, P. L. O. C. *Estatística*. São Paulo: Edgard Blücher, 1977. 265p.



12. NUVOLARI, A. et al. *Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola*. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2003. 550p.
13. PEREIRA, J. A. R. *Estimativa da tarifa de esgoto sanitário com base no consumo per capita de água em edifícios residenciais com poço arteziano*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21, 2001, João Pessoa. Anais... João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. p. 1-9.
14. PEREIRA, J. A. R.; MACIEL, E. F. M. *Determinação do consumo per capita em edifícios residenciais da região metropolitana de Belém para avaliar a tarifa de esgoto sanitário*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. p. 3141-3148.
15. SOARES, J. F.; FARIAS, A. A.; CESAR, C. C. *Introdução à estatística*. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S. A., 1991. 378.
16. SOBRINHO, P. A.; TSUTIYA, M. T. *Coleta e transporte de esgoto sanitário*. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999. 548p.
17. STEEL, E. W. *Abastecimento d'água: sistemas de esgotos*. Rio de Janeiro: Sociedade Editora e Gráfica Ltda, 1966. 866
18. WALSKI, P. E.; CHASE, D. V.; SAVIC, D. A. *Water distribution modeling*. Waterbury: Haestad Press, 2001. 441p. DI BERNARDO, L, Comunicação pessoal sobre Técnicas de Tratabilidade, 1993/1995.

(*) Trabalho apresentado e publicado originalmente no 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

