

Análise Hidráulica do Sistema de Esgotamento Sanitário da Bacia Hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro

Thereza Christina de Almeida Rosso, Werner Bess D'Alcântara

Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental – PEAMB/UERJ

Rio de Janeiro, RJ - rosso@uerj.br.

Recebido: 12/07/04 revisado: 16/11/04 aceito: 10/05/06

RESUMO

A Lagoa Rodrigo de Freitas, situada na zona sul da cidade do Rio de Janeiro, recebe uma significativa parcela de esgotos domésticos, detectados pelos parâmetros indicativos da qualidade de suas águas. A região onde está localizada apresenta uma urbanização consolidada e um sistema de coleta de esgotos sanitários que atende a toda população residente, cuja implantação acompanhou o desenvolvimento urbano da região, a partir do final do século XIX. Este trabalho apresenta uma análise crítica do sistema de esgotamento sanitário da bacia contribuinte à Lagoa Rodrigo de Freitas, avaliando a sua vulnerabilidade. Apresenta-se a avaliação hidráulica do sistema através do aplicativo computacional SewerCad, da Haestad Methods Inc., apropriado para projetos e análise de escoamentos por gravidade, considerando hipótese que correspondem às condições reais de operação, com uma série de prováveis contribuições, pertinentes ou não a uma rede coletora de esgotos sanitários.

Palavras-chave: *esgotos domésticos; qualidade das águas.*

INTRODUÇÃO

A Lagoa Rodrigo de Freitas (LRF) localiza-se na Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro, sendo um dos mais belos cartões postais do município. Nesta região encontra-se grande parte do potencial turístico que representa a cidade. Assim, a discussão das questões que envolvem o saneamento básico no entorno da Lagoa é de suma importância para a melhoria da qualidade de vida dos habitantes da região, para o desenvolvimento das atividades pesqueiras e esportivas e da preservação ambiental de todo seu ecossistema.

De forma mais abrangente, observa-se que o saneamento básico deve ser uma preocupação fundamental para o completo desenvolvimento de qualquer país. No caso do Brasil, os investimentos em sistemas de coleta de esgotos sanitários ainda são pequenos, mesmo quando comparados aos investimentos aplicados em sistemas de distribuição de água potável. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2003), a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio 2001, indica um percentual de 66,7% de domicílios com algum tipo de coleta de esgotamento sanitário, enquanto 81,1% possuem água potável. Englobando a esta questão a poluição dos corpos d'água receptores quanto à ausência de um correto condicionamento para esgotos

domésticos, este déficit ainda é maior. Outro ponto a ser observado é a operação e manutenção dos sistemas já existentes. No caso específico da Zona Sul do Rio de Janeiro, onde situa-se a bacia hidrográfica da LRF, a região foi contemplada com grandes investimentos para implantação do sistema de esgotamento sanitário desde o final do século XIX. Porém, nota-se que os investimentos necessários para recuperação e manutenção das condições ideais de operação, não foram satisfatórios. Ao longo do processo de urbanização do entorno da lagoa pôde-se observar os problemas causados pela falta de continuidade dos investimentos, com alguns períodos de iminente colapso do sistema de coleta, transporte e de destino final dos esgotos sanitários.

A ocorrência de problemas no sistema de esgotamento sanitário da bacia de contribuição da LRF tem como consequência imediata os lançamentos indevidos de esgotos na lagoa, comprometendo ainda mais os parâmetros indicativos da qualidade de suas águas. Embora não seja, comprovadamente, a única razão pela má qualidade das águas, o aporte de esgotos domésticos ao longo do tempo é uma das características que afeta o ecossistema local.

Lançamentos indevidos de esgotos são observados e noticiados freqüentemente no corpo d'água da lagoa e podem ocorrer através de ligações clandestinas efetuadas no sistema de águas pluviais

ou pelo extravazamento do próprio sistema de esgotamento sanitário indicando uma vulnerabilidade em sua condição de operação. As ligações clandestinas são problemas crônicos que devem ser corrigidos através de investigações constantes, visando a localização exata de sua ocorrência e fiscalização constante na aplicação das sanções previstas. A vulnerabilidade indica o estado ou em que condições o sistema se apresenta em um determinado momento. Uma das possibilidades de análise da vulnerabilidade é a verificação hidráulica do sistema considerando as vazões contribuintes, para determinação dos fatores que influenciam nas más condições de operação.

As vazões contribuintes para sistemas de esgotos sanitários são provenientes em grande parte das águas servidas domésticas. Porém, outras parcelas são consideradas na contribuição final das contribuições que escoam pelo sistema, como contribuições singulares e de infiltração.

Uma ocorrência de grande interferência verificada nos sistemas de esgotos é a contribuição de águas pluviais, mesmo nos sistemas do tipo separador absoluto, adotado para o sistema de esgotamento sanitário do Rio de Janeiro a partir do século XX. Analisando as sub-bacias hidrográficas contribuintes à LRF, encontram-se rios e canais nascendo a partir do Maciço Costeiro, limite norte da bacia contribuinte, criando um quadro mais susceptível a impactos por causas naturais ou antrópicas. Recentemente, foram implementadas unidades denominadas “*captações de tempo seco*”, procurando, de uma maneira não definitiva, melhorar as condições sanitárias de corpos hídricos que recebem contribuições indevidas de esgotos domésticos. De forma geral, as precárias condições dos sistemas de infra-estrutura em áreas de ocupação irregular são as principais causas de implantação das “*captações de tempo seco*”. Estas unidades, embora implantadas de maneira provisória, são atípicas em um sistema de esgotamento sanitário e podem comprometê-lo com o aporte indevido de águas pluviais e em muitos casos, acabam por se tornar uma solução definitiva.

Este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo indicando os prováveis fatores que influenciam a vulnerabilidade do sistema existente de coleta de esgotos sanitários da bacia contribuinte à LRF. Para tal, apresenta-se a análise hidráulica de uma de suas sub-bacias através de aplicativo computacional próprio para análise de escoamentos por gravidade, tendo por base os dados cadastrais dos trechos que constituem este sub-sistema. O aplicativo computacional utilizado foi o *SewerCad* produzido pela Haestad Methods, Inc. Este aplicativo possui in-

terface com aplicativos gráficos como o AutoCad, sendo considerado próprio para projetos e análises de sistemas com escoamento por gravidade e estações de bombeamento com tubulações sob pressão.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A Lagoa Rodrigo de Freitas é uma laguna como a maioria das lagoas costeiras, tendo sido inadequadamente denominada de lagoa (Consórcio Coppetec/Logos, 2001). As lagoas têm como característica principal estarem ligadas com o mar por fluxo e refluxo de águas. A LRF é receptora natural de sub-bacias fluviais. Sua água é salobra, sendo influenciada pela maré (água salgada) e pelas contribuições de águas fluviais e pluviais (água doce). O resultado desta mistura determina o grau de salinidade de suas águas. Tem como perímetro cerca de 7,8 km e uma área de superfície atualmente de 2,2 km². A profundidade média é da ordem de 2,80 metros e máxima em torno de 4,0 metros, com volume de 6.200.000 m³.

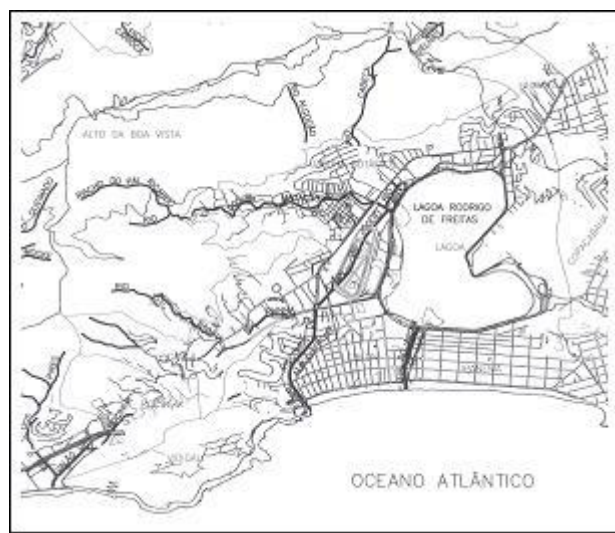


Figura 1 - Vista da bacia hidrográfica da Lagoa Rodrigo de Freitas. (DIAS, 2003).

Pela Figura 1, é possível observar que a bacia de drenagem da LRF é constituída pelas sub-bacias dos rios Cabeças, Macacos e Rainha e as áreas costeiras das praias de Ipanema e Leblon, com uma área total de 23,5 km². Tem como limite norte a Ser-

ra Carioca e sul o Oceano Atlântico. Os divisores de drenagem vão desde a praia do Arpoador, passando pelos morros dos Cabritos e Saudade, chegando até os morros do Corcovado, Alto do Sumaré, Pico da Carioca, Morro do Queimado e voltando até a praia pelo morro Dois Irmãos e Alto Leblon (Ambiental, 2001).

Este belo ambiente lacustre possui entretanto um histórico problema ambiental, notadamente relativo à qualidade de água, que já se estende por mais de um século. A estagnação de suas águas, a exalação de gases e a mortandades de peixes já fora relatada em 1877 pelo Barão de Lavradio e em seguida por Teffé em 1880, (Ambiental, 2001). Já nessa época foram dedicados estudos em busca da contenção dos processos de degradação da lagoa, porém sem muito sucesso. Ao contrário, a intensa ocupação urbana de sua bacia hidrográfica veio agravar o quadro problemático da qualidade de suas águas e as mortandades de peixes foram se tornando mais freqüentes (Ambiental, 2001). Entre os principais problemas pode-se destacar: *a)* excessivos aterros reduzindo seu espelho d'água, *b)* freqüente extravasamento dos esgotos sanitários, de forma acidental ou por intermédio das ligações clandestinas às galerias pluviais concorrentes à lagoa, associados a outros tipos de despejos (efluentes de postos de serviços de combustíveis); *c)* pequena profundidade média e o constante assoreamento, com toda sorte de poluentes, ocasionando alterações na qualidade físico-química e biológica de suas águas diminuindo consideravelmente a concentração de oxigênio dissolvido, sendo uma das causas da mortandade de peixes. Conseqüências mais drásticas podem ser observadas no verão com o aumento da temperatura de suas águas. Esse fato ocorre tanto em pequenas quantidades, pontualmente como um sintoma, ou em grandes quantidades como um reflexo de sua fragilidade ambiental (Rosso *et al.*, 2002); *d)* consumo excessivo de oxigênio na lagoa e a disponibilização para a coluna d'água do material presente no fundo da lagoa, composto de matéria orgânica e sedimentos finos, usualmente denominado lodo ativo. Este material é originário da drenagem da bacia hidrográfica, dos próprios organismos que habitam a lagoa e pelo lançamento clandestino de esgotos domésticos. Como as camadas mais profundas da lagoa se encontram freqüentemente sob condições anóxicas, a matéria orgânica depositada no fundo não sofre decomposição aeróbia e fica sujeita a processos anaeróbios, que promovem uma degradação muito mais lenta e, dessa forma, é comum a presença de matéria orgânica em altas concentrações nessas regiões.

Várias alternativas e estudos técnicos foram apresentados ao longo dos últimos anos para solução dos problemas acima apresentados, destacando-se aqui as intervenções realizadas na primeira metade do século XX, como a abertura do Canal da Visconde de Albuquerque, Canal do Jóquei e da Rua General Garzón, visando permitir o escoamento das águas pluviais para o mar. O Canal do Jardim de Alah procura garantir uma ligação permanente com o mar, como pode ser visto na Figura 2.

Em termos populacionais, a bacia de contribuição da LRF está, politicamente, situada em sua maior parte na VI Região Administrativa do Município do Rio de Janeiro e abrange os bairros de Ipanema, Leblon, Lagoa Jardim Botânico e Gávea. A exceção é a região situada no entorno da Rua Humaitá, pertencente à IV Região Administrativa. Os censos demográficos realizados pelo IBGE (2002) entre o período de 1970 a 2000, apresentam um crescimento populacional da região até 1980 e a partir daí um esvaziamento da região, sendo verificado um crescimento constante somente nas áreas de ocupação irregular (favelas) conforme apresentado na Tabela 1.

As demais características atuais da região tais como: características climáticas, qualidade das águas da LRF, incluindo os parâmetros influentes: temperatura, salinidade, pH, turbidez; oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, material particulado em suspensão, nutrientes inorgânicos (amônia, nitrogênio total e fósforo total), podem ser observados detalhadamente em D'Alcantara (2003).

Principais características do sistema de coleta e transporte do esgotamento sanitário

Como os primeiros sistemas de esgotamento adotados na época do Brasil Império o sistema de esgotamento da LRF foi do tipo separador parcial, contando com dois sistemas: um recebendo as águas pluviais e o outro os esgotos sanitários e as águas pluviais provenientes de terraços e áreas internas das edificações. Em 1 de janeiro de 1913, o Governo do Estado determinou a obrigatoriedade da adoção do sistema separador absoluto tanto para as novas edificações como para a reconstrução daqueles que já possuísem instalações sanitárias ligadas à rede pública (Rosso *et al.*, 2002). Desta forma, a região da LRF passa a ser esgotada pelo sistema separador absoluto, utilizando redes coletoras independentes para esgotos sanitários e águas pluviais. As galerias de águas pluviais contribuem para os diversos corpos

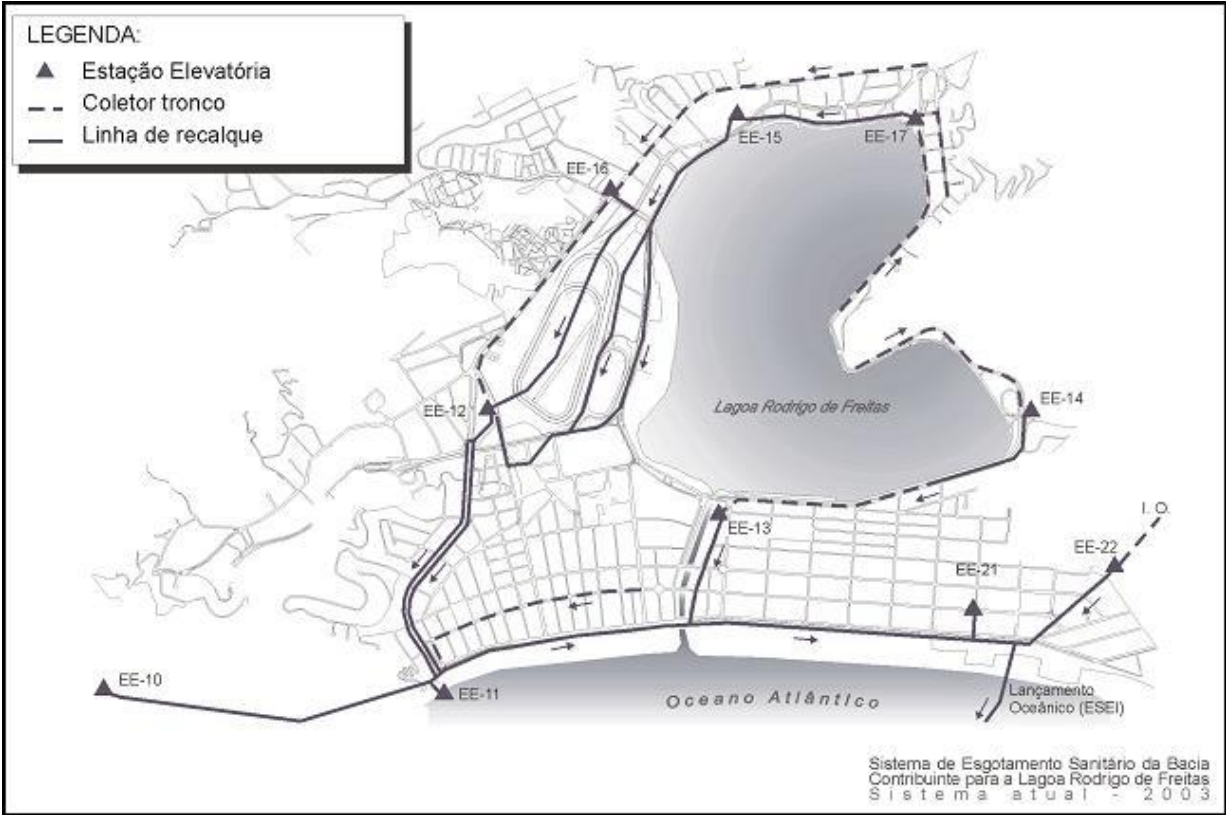


Figura 2 - Sistema de esgotamento sanitário da bacia contribuinte à LRF em operação após 1975 até os dias atuais.

d'água que compõem a bacia, incluindo os rios Macacos, Cabeças e Rainha, os canais do Jardim de A-lah e Visconde de Albuquerque e a própria Lagoa. A rede de esgotos sanitários foi implementada no início do século passado, constituída por galerias construídas em 1894, sendo composta por diversas bacias e sub-bacias, interligadas por um complexo sistema de elevatórias, tendo como destino final o Sistema de Disposição Oceânica de Ipanema (Emissário Submarino de Ipanema, ESEI). Maiores detalhes sobre o histórico da implantação e intervenções nos sistemas de esgotamento antes do ESEI podem ser observados em D'Alcantara (2003).

O sistema de esgotamento sanitário atual conforme pode ser observado na Figura 2, atende praticamente toda a região contribuinte à bacia da LRF com rede coletora, principalmente as constituídas pelas áreas formais, considerando os bairros de Ipanema, Leblon, Gávea, Jardim Botânico, Lagoa e uma pequena parte de Humaitá. O complexo sistema de elevatórias e destino final no ESEI continua mantido. Cada estação elevatória possui em sua área de influência uma região atendida por rede coletora, denominada como *sub-bacia da elevatória* em refe-

rência, por exemplo, bacia contribuinte à Elevatória Cantagalo: sub-bacia Cantagalo.

Tabela 1 - População Residente das VI e XXVII Regiões Administrativas (RA) por Bairro.

	Censo 1970	Censo 1980	Censo 1991	Censo 2000
VI RA – Lagoa	175.586	239.363	177.072	174.062
Ipanema	-	63.602	48.245	46.808
Leblon	-	62.871	49.930	46.670
Lagoa	-	23.815	18.652	18.675
Jardim Botânico	-	21.084	19.434	19.560
Gávea ⁽¹⁾	-	49.774	15.350	17.475
São Conrado	-	8.421	13.591	11.155
Vidigal	-	9.696	11.870	13.719
XXVII RA - Ro-cinha	-	-	42.892	56.338
Rocinha	-	-	42.892	56.338
Total Geral	175.586	239.363	219.964	230.400

(1) – A área da Rocinha era considerada no Bairro da Gávea até o censo do ano de 1980, sendo desmembrada com a criação da XXVII RA.

Uma das principais características operacionais deste sistema é a sua atuação em série, com as linhas de recalque de uma elevatória lançando os esgotos em outra, até o lançamento no emissário terrestre, situado na Av. Delfim Moreira e Vieira Souto, que transporta os esgotos até a caixa de confluência do emissário submarino. Desta maneira, o sistema se divide em duas vertentes, que pode-se denominar *vertente leste*, com as sub-bacias de Cantagalo e Caiçaras; e *vertente oeste*, com as sub-bacias de José Mariano, Hípica, Jardim Botânico e Saturnino de Brito. As outras duas sub-bacias, a do Leblon e a Farme de Amoedo, atuam independentes, lançando seus esgotos diretamente no emissário terrestre, conforme apresentado na Figura 2, tendo as elevatórias as seguintes denominações D'Alcantara (2003):

- **EE-11** – *Estação Elevatória do Leblon* – Situada no fim da praia do Leblon e início da Av. Niemeyer, recebe os esgotos de parte do Leblon, estando capacitada para receber os esgotos de todo o sistema Zona Sul no caso de uma operação de emergência. Recalca seus esgotos para a caixa de carga inicial do emissário terrestre;
- **EE-12** – *Estação Elevatória Saturnino de Brito* – Situada na Rua Bartolomeu Mitre, substituiu a antiga elevatória do Jardim. É o ponto de concentração de grande parte dos esgotos da Gávea, Jardim Botânico e Leblon e ainda recebe as contribuições das elevatórias da Hípica e Jardim Botânico. Recalca os esgotos diretamente para o emissário terrestre;
- **EE-13** – *Estação Elevatória Caiçaras* – Situada junto ao Jardim de Alah, recebe a contribuição de parte de Ipanema e ainda os esgotos provenientes da Elevatória Cantagalo (EE-14);
- **EE-14** – *Estação Elevatória Cantagalo* – Situada em praça próxima ao Corte do Cantagalo, recebe a contribuição dos esgotos da região adjacente e os recalca para a sub-bacia Caiçaras;
- **EE-15** – *Estação Elevatória Hípica* – Situada junto ao muro da Hípica, na rua Lineo de Paula Machado, recebe os esgotos da sub-bacia local e ainda os provenientes da Elevatória José Mariano;
- **EE-16** – *Estação Elevatória Jardim Botânico* – Situada na esquina das ruas Pacheco Leão e Jardim Botânico, recebe a contribuição da

região situada ao longo da rua Pacheco Leão e recalca seus esgotos para a Elevatória Saturnino de Brito;

- **EE-17** – *Estação Elevatória José Mariano* – Situada na saída do Túnel Rebouças, recebe a contribuição de parte do Humaitá, Jardim Botânico e da Fonte da Saudade. Recalca seus esgotos até a Elevatória da Hípica;
- **EE-21** – *Estação Elevatória Farme de Amoedo* – Situada na esquina das ruas Prudente de Moraes e Farme de Amoedo, e recebe contribuição de parte de Ipanema, lançando os esgotos diretamente no emissário terrestre, na Av. Vieira Souto.

Outra característica importante no sistema de esgotamento da lagoa é a captação de tempo seco (CTS) foi descrita pela Auditoria Ambiental da Rede Coletora da Bacia Contribuinte da Lagoa e Bacia do Rio Rainha (Consórcio Coppetec/Logos, 2001), como elemento atípico do sistema de esgotamento sanitário. Esta captação é executada geralmente próxima as áreas de ocupação sub-normal (favelas) visando coletar as contribuições indevidamente lançadas no sistema de águas pluviais. Podem ser de dois tipos, conforme visto nas Figuras 3 e 4, a mais comum, do tipo II, estão inseridas nas galerias de águas pluviais, possuindo uma pequena barragem que, em tempo seco, são utilizadas para desviar as vazões provenientes de ligações clandestinas de esgotos sanitários no sistema de drenagem para o sistema de coleta. Quando acontece a chuva, a lâmina líquida ultrapassa a barragem seguindo pela galeria.

Nesse complexo sistema de esgotamento os principais problemas detectados incluem (Consórcio Coppetec/Logos, 2001):

- a) mais de 80% dos trechos da rede coletora são em manilha cerâmica e concreto armado/simples, estes tipos de materiais são os mais sujeitos a danos físicos e a infiltrações;
- b) a idade em que se encontra grande parte da rede coletora situa-se acima dos padrões de vida útil para os materiais apresentados, que seria em torno de 30 anos;
- c) foi verificada a suficiência da seção hidráulica da maior parte da rede coletora, quando utilizada a premissa de escoamento considerando somente as vazões de esgotos domésticos, porém isto não condiz com as condições verificadas *in loco*, encontrando-se

- rede coletora operando à seção plena ou afogada;
- d) para os fatores causadores das condições de escoamento à seção plena ou afogada, foram apresentados os seguintes argumentos:
- d.1) existência de pontos de desníveis em locais como antigas elevatórias desativadas, provocando o represamento hidráulico a montante da rede com perdas nas condições de escoamento;
- d.2) falta de volume regulador nas elevatórias e falta de submergência mínima das sucções das bombas pelo tipo de poço de sucção encontrado em algumas elevatórias existentes, sem uma condição de desnível entre a chegada da rede e nível máximo do poço, causando uma condição de escoamento à meia-seção ou à seção plena na rede coletora a montante da elevatória;
- e) influência excessiva das águas pluviais na contribuição final das elevatórias, causando acréscimos de 30 a 100% na vazão de esgotos domésticos a serem veiculadas no sistema. Esta influência aumenta em função, principalmente, da extensão total da rede coletora.

Neste trabalho visando analisar a vulnerabilidade do sistema os dois últimos itens servirão de base para o estudo para uma das sub-bacias do sistema, conforme apresentado a seguir.

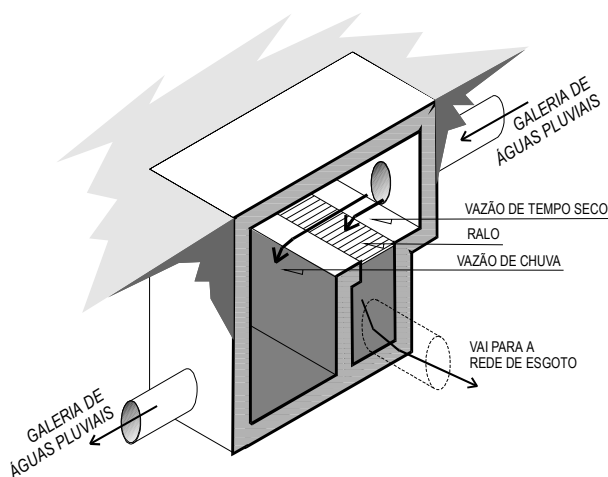


Figura 3 - Captação de tempo seco (CTS) Tipo I.
(Fonte: D'Alcantara, 2003)

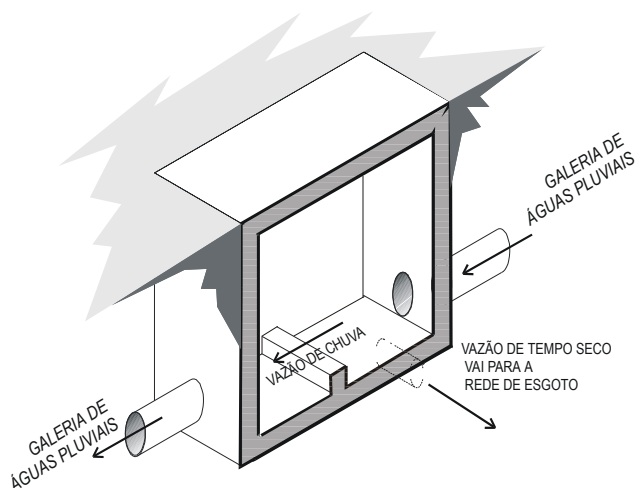


Figura 4 - Captação de tempo seco (CTS) Tipo II.
(Fonte: D'Alcantara, 2003)

VULNERABILIDADE DO SISTEMA DE ESGOTAMENTO DA SUB-BACIA DA ELEVATÓRIA JOSÉ MARIANO (EE-17)

No caso aqui apresentado, entende-se como vulnerabilidade do sistema como sendo o estado do sistema, ou ainda, em que condições o sistema se apresenta em um determinado momento. Esta condição pode ser física, operacional ou administrativa, podendo ser estudada em conjunto ou separadamente. Vale ressaltar ainda que a análise de vulnerabilidade de um sistema é importante, também, para o estabelecimento de planos de emergência e medidas mitigatórias, necessárias para implantação em casos extremos e na reabilitação do sistema em caso de algum impacto. As regiões sujeitas a desastres naturais como furacões, terremotos, erupções vulcânicas, inundações e secas extremas, sofrem com a desorganização dos serviços e pelos altos custos de reabilitação da infra-estrutura. Nestes casos, as análises de vulnerabilidade ajudam a definir prioridades e organizar a entrada de ação do Plano de Emergência. O Centro Pan-Americano de Engenharia Sanitária e Ciências do Ambiente, a Organização Pan-Americana de Saúde e a Organização Mundial de Saúde (CEPIS/OPS/OMS) preparam um “Guia para Elaboração de Análise de Vulnerabilidade de Sistemas de Abastecimento de Água Potável e Esgotamento Sanitário” (Farrer, 1996) como ferramenta

para auxiliar neste diagnóstico e análise, frente a estas ameaças naturais.

Crítérios de escolha e detalhes da sub-bacia a ser analisada

Após a coleta de dados e a análise das informações obtidas sobre a operação do sistema de esgotamento da bacia contribuinte à LRF, a região da Elevatória José Mariano foi escolhida como representativa do sistema em função das seguintes características: *a) área situada a montante do sistema* (ver Figura 2): recebe as contribuições do sistema, sendo a primeira de uma série de elevatórias situadas no sistema oeste da lagoa, lançando suas contribuições na Elevatória da Hípica (EE -15); *b) aporte de águas pluviais*: o sistema encontra-se situado próximo ao Maciço da Tijuca, sendo influenciado em grande parte por sua maior área contribuinte no sistema de águas pluviais; *c) captação de tempo seco*: uma das captações de tempo seco existente no sistema da lagoa está situada nesta sub-bacia, tendo como objetivo coletar os efluentes provenientes de ligações clandestinas da região e ainda os esgotos não coletados provenientes da Favela Humaitá.

A sub-bacia da Elevatória José Mariano (EE-17), compreende as regiões da Fonte da Saudade (VI RA – Lagoa) e do Humaitá (IV RA – Botafogo). É uma região eminentemente residencial, com características topográficas diversas, possuindo áreas planas, próximo à lagoa e regiões íngremes, situadas no Morro da Saudade. Segundo a Secretaria de Urbanismo (Rio de Janeiro, 1999), a área em estudo possui quatro tipos de zoneamentos permitidos: as Zonas Residenciais (ZR) 1, 2 e 3, que são adequadas para prédios residenciais uni e multifamiliares e tolerantes a algumas atividades comerciais. A região possui ainda uma Zona Especial (ZE) 1, que são áreas consideradas de proteção e “non edificanti”, não sendo permitido loteamento ou arruamento de iniciativa particular. As principais características urbanas desta sub-bacia podem ser observadas na Figura 5.

No tocante ao sistema coletor da sub-bacia, este é bastante antigo, possuindo dois setores distintos, implementados em diferentes épocas, conforme apresentado na Figura 6.

Análise Hidráulica da Sub-bacia da Elevatória José Mariano (EE-17)

Para a análise hidráulica da sub-bacia escolhida, 6 (seis) hipóteses foram consideradas viáveis,

segundo os critérios e parâmetros adotados, representativas para causar impactos devido as seguintes situações: *a) situação urbana atual*; *b) contribuições devido a águas pluviais de superfície*; *c) condições operacionais de lançamento no poço de sucção da elevatória*; *d) contribuições indevidas devido a captação de tempo seco*.

O SewerCad foi o aplicativo computacional escolhido, próprio para projetos e análises de escoamento por gravidade e estações elevatórias com tubulações sob pressão. Os trechos por gravidade são calculados por modelos matemáticos que utilizam os critérios hidráulicos tanto para o escoamento uniforme quanto o escoamento variado, de acordo com as condições encontradas durante o procedimento de cálculo.

O aplicativo possibilita a análise do sistema para diversas condições de vazão, destacando-se duas opções, a primeira denominada *steady state* quando o dimensionamento é efetuado para uma única condição de vazão e a segunda opção denominada *extended period*, onde o dimensionamento pode ser efetuado para um período de 24 horas, determinando a variação de tempo e vazão.



Figura 5 - Densidades segundo os setores censitários da Bacia Contribuinte da Elevatória José Mariano.

Fonte: Setores Censitários. IBGE, 2002.

A análise hidráulica também pode ser feita em conjunto, com elemento do sistema em escoamento por gravidade ou sob pressão, trechos em paralelo ou em série, de maneira tal que se apresentem o mais próximo possível das condições encontradas em campo.

O aplicativo considera a possibilidade de diversificação das opções com a apresentação de cenários distintos para cada alternativa. Para cada sistema analisado pode-se obter vários cenários distintos para cada alternativa. Para cada sistema analisado pode-se ter vários cenários de apresentação sem perda dos dados iniciais de entrada. Desta forma, uma base de entrada de dados é suficiente para as diversas hipóteses consideradas para área de estudo.



Figura 6 - Identificação da rede coletora da sub-bacia contribuinte à Elevatória José Mariano conforme o período de implantação.

Fonte: D'Alcantara, 2003.

Hipóteses consideradas na análise hidráulica

1ª. Hipótese

Nesta hipótese procurou-se representar a situação urbana atual da área em estudo, considerando somente a parcela da vazão de esgotos domésticos obtida em função da população residente e da

taxa per capita de consumo. Foi adicionada a esta parcela a contribuição das águas subterrâneas, definida como taxa de infiltração.

2ª. Hipótese

Neste caso, procurou-se acrescentar à parcela dos esgotos domésticos a contribuição indevida das águas pluviais de superfícies em sistemas do tipo separador absoluto., visando assim, analisar a vulnerabilidade do sistema com o impacto causado pela inserção de águas pluviais na rede coletora.

3ª. Hipótese

A terceira hipótese procurou avaliar o sistema considerando a inserção de água pluvial no sistema de esgotamento sanitário através da captação de tempo seco. A vazão total do sistema foi considerada a 2ª hipótese com a soma das parcelas de esgotos domésticos e águas pluviais.

4ª, 5ª, e 6ª. Hipóteses

Nestas hipóteses procurou-se avaliar as condições de lançamento da rede coletora do sistema em seu destino final. Nas hipóteses anteriormente apresentadas, as condições hidráulicas de lançamento não levavam em consideração o nível de chegada no poço de sucção da elevatória. Desta forma, adotou-se sempre um nível inferior ao último trecho do sistema, admitindo-se um lançamento com escoamento livre.

Para as hipóteses 4, 5 e 6, estudou-se as condições reais de chegada do escoamento na elevatória, procurando avaliar o comportamento da rede coletora em condições adversas àquela na qual foi projetada, ou seja, o nível de chegada no poço de sucção da elevatória acima do nível necessário para o escoamento em conduto livre, no ultimo trecho da rede coletora. Para as hipóteses 4, 5 e 6, foram adotadas as vazões calculadas nas hipóteses 1, 2 e 3, respectivamente.

Em todas as hipóteses foi utilizada uma base digital preparada pelo Instituto Pereira Passos (IPP), obtida a partir de levantamento aerofotogramétrico na escala 1:2000. Os dados principais relativos ao sistema existente (indicação de caminhamento dos trechos e posicionamento dos órgãos acessórios; indicação de profundidade dos órgãos acessórios; indicação de diâmetro, material e data de implantação das tubulações existentes, por rua), foram obtidos em D'Alcantara, 2003.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Uma análise geral das simulações formuladas mostra que os trechos mais vulneráveis estão concentrados próximo à chegada da Elevatória Jose Mariano e no coletor situado na Av. Eptácio Pessoa, localizado junto à LRF, em uma região plana, recebendo ao longo de sua extensão os esgotos das áreas mais elevadas. Assemelha-se a um interceptor recebendo a contribuição dos coletores-tronco.

A maneira utilizada para analisar o nível de comprometimento do sistema foi através da extensão total dos trechos em que a avaliação hidráulica indicou o escoamento com lamina superior a 100%, conforme pode ser constatado na Tabela 2. A pior situação ocorre na hipótese 6, com o comprometimento de cerca de 31% da extensão total da rede coletora. Maiores detalhes quanto aos resultados obtidos podem ser vistos em D'Alcantara (2003).

Tabela 2 - Extensão de rede coletora operando sob pressão.

	Vazão Máxima (l/s)	Extensão total da rede (m)	Extensão de rede sob pressão (m)	Percentual da rede sob pressão
Hipótese 1	110,50	6.202,00	123,00	2%
Hipótese 2	141,20	6.202,00	787,00	13%
Hipótese 3	216,20	6.202,00	1.263,50	20%
Hipótese 4	100,50	6.202,00	704,50	11%
Hipótese 5	141,20	6.202,00	1.495,00	24%
Hipótese 6	216,20	6.202,00	1.903,00	31%

As condições expostas na avaliação hidráulica indicam como um dos principais fatores de vulnerabilidade do sistema, o poço de sucção e os níveis operacionais da Estação Elevatória José Mariano. A modificação da chegada na elevatória, tornando a influência dos níveis operacionais nula perante a rede coletora, traria benefícios nas condições de escoamento livre previsto para o sistema. As Figuras 7 e 8 apresentam esquematicamente a situação atual e a indicação da situação desejada para o funcionamento do poço de sucção em relação a chegada da rede coletora.

A contribuição de águas pluviais no sistema é outro fator importante e indicativo da sua vulnerabilidade. Esta contribuição não encontra-se prevista nas normas brasileiras de projeto de sistema de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto sendo assim são consideradas indevidas. Porém, são responsáveis pelos principais extravasamentos do sis-

tema em chuvas intensas, que no sistema em estudo tem como destino final a LRF, contribuindo ainda mais com a piora da qualidade da água de seu espelho d'água. Existem estudos, como apresentados por Ennes (1998), que procuram relacionar a vulnerabilidade do sistema de esgotamento por inundações à diminuição da qualidade da água potável distribuída à população, não sendo o objetivo deste trabalho. Outros, como o estudo de caso da cidade de Franca (Tsutiya *et al.*, 2003), mostra na prática, a incapacidade de se evitar por completo a inserção da contribuição de águas pluviais no sistema de esgotos. A ausência de medições próprias para investigação da magnitude desta influência colabora também para que esta parcela não seja incluída em novos projetos de rede coletora. Uma das propostas é então incluir, na vazão final para o dimensionamento de sistemas de coleta e transporte de esgotos sanitários, uma taxa similar a existente na NBR 12.207 (ABNT, 1986) para interceptores, com uma faixa de valores a serem adotados, sendo estes valores definidos através de estudos e medições em sistemas existentes com características diversas relacionando-os com os índices pluviométricos. Este novo parâmetro melhoraria as condições operacionais dos sistemas de esgotos nos dias de precipitação intensa, evitando assim extravasamentos indesejados em certas regiões, melhorando também, nos casos como o da LRF, as condições ambientais neste período.

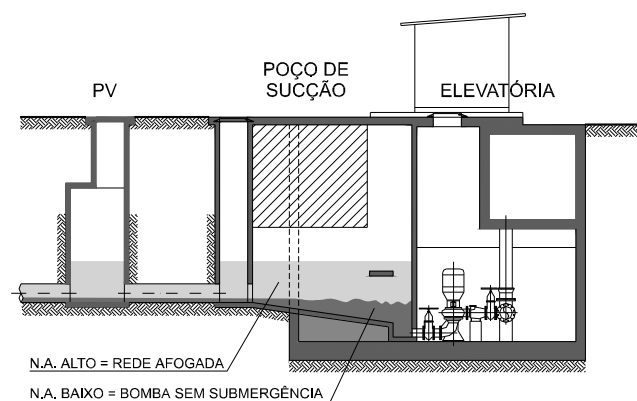


Figura 7 - Esquema indicativo da situação atual do poço de sucção em relação a rede coletora. Fonte: Adaptado do Relatório da Auditoria Ambiental (Consórcio Coppetec/Logos, 2001).

As condições físicas das tubulações e o tipo de material adotado para a rede coletora são mais dois outros fatores importantes que influenciam na magnitude das contribuições indevidas absorvidas

nos sistemas de esgotamento sanitário. As tubulações instaladas no sistema analisado, de acordo com o levantamento efetuado no cadastro técnico da CEDAE, possuem entre 18 e 100 anos, sendo cerca de 90% com idade acima de 55 anos. Além das condições físicas precárias das tubulações, o tipo de material predominante, a Manilha de Barro Vidrado (MV), apresenta uma disposição maior à infiltração de águas subterrâneas comparado a materiais como o Policloreto de Vinila (PVC), utilizado em sistemas mais recentes. Os investimentos em manutenção e troca das tubulações existentes, iniciando com as mais antigas, devem ser considerados como essenciais para a continuidade da operação do sistema de coleta e transporte.

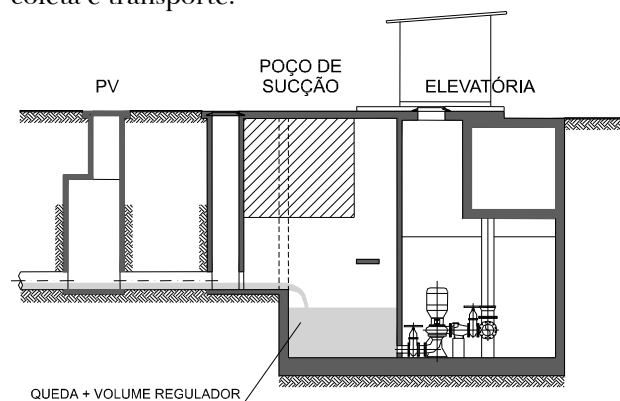


Figura 8 - Esquema indicativo da situação desejada do poço de sucção em relação à rede coletora. Fonte: Adaptado do Relatório da Auditoria Ambiental (Consórcio Coppetec/Logos, 2001).

Os dispositivos utilizados para captação de tempo seco, conforme citado anteriormente, são estruturas provisórias, destinadas a coletar os esgotos lançados no sistema de águas pluviais irregularmente. A ausência de um planejamento a longo prazo e a falta de investimentos necessários para coibir as ligações clandestinas transformam as captações de tempo seco em unidades definitivas. As hipóteses 3 e 6 simulam o aporte de águas pluviais no sistema de esgotos provocado por uma destas unidades, tornando-se um dos fatores que contribuem para a vulnerabilidade do sistema.

A operação em regime sob pressão, como verificado pela avaliação hidráulica em parte do sistema coletor, não é uma condição normal e deve ser evitada. O funcionamento dos coletores sob pressão não indica necessariamente o comprometimento da capacidade de escoamento do sistema. A condição de regime sob pressão pode ocorrer por interferên-

cia, como demonstrado nas hipóteses 4, 5 e 6, de lâmina de controle a jusante do escoamento, modificando o regime para o qual o sistema foi dimensionado. Esta mudança nas condições de escoamento, passando de um regime livre para um regime sob pressão, pode alterar as condições mínimas previstas para a autolimpeza dos coletores, não alcançando os valores da tensão trativa mínima necessária para o arraste do material sedimentado. Neste caso, o sistema torna-se vulnerável pela condição imposta pelo novo regime de escoamento, provocando a sedimentação do material sem as condições ideais de autolimpeza e diminuindo a capacidade de escoamento dos coletores.

Conforme demonstrado nas hipóteses 1 e 2 o sistema de esgotamento sanitário contribuinte para a Elevatória José Mariano apresenta uma capacidade de escoamento para o esgotamento da população residente próximo da suficiência, com exceção de alguns trechos do coletor 1, situado na Av. Epitácio Pessoa. O sistema, embora em funcionamento desde a primeira metade do século XX, mantém em parte, a capacidade de escoamento mesmo com a verticalização urbana verificada ao longo do século passado. Esta situação pode ser fruto das metodologias utilizadas para o dimensionamento do sistema na época de sua implantação, como o critério das áreas edificadas, bem mais conservadoras que as atuais. O menor crescimento verificado nas duas últimas décadas pode também ser um fator determinante para a manutenção da capacidade de escoamento do sistema.

CONCLUSÕES

Este trabalho procurou buscar um conhecimento técnico do Sistema de Esgotamento Sanitário da Bacia Contribuinte à LRF com o objetivo de apresentar fatores que demonstrem a vulnerabilidade do sistema através de avaliações hidráulicas que simulassem as diversas condições possíveis de ocorrência no sistema de coleta. Estas condições foram simuladas através das 6 (seis) hipóteses propostas, considerando as vazões de esgotos domésticos, contribuições indevidas de águas pluviais e situações operacionais atípicas atuantes no sistema.

Dentre os fatores analisados para verificação da vulnerabilidade do sistema de esgotamento sanitário, destacam-se os problemas encontrados com as instalações existentes da Elevatória José Mariano e a combinação de fatores operacionais com as contribuições indevidas de águas pluviais. Na caracterização do sistema relata-se a existência de uma série de

elevatórias, cada qual com uma bacia contribuinte, interligadas até o destino final, sendo este o Emissário Submarino de Ipanema. Não foram analisadas neste trabalho as linhas de recalque existentes nem a capacidade instalada nas elevatórias, relativa aos conjunto motor-bomba em relação à vazão prevista para o transporte dos efluentes. Porém, as condições analisadas na sub-bacia de José Mariano indicam a propagação dos problemas encontrados a medida que se transporta os efluentes até o seu destino final.

Nas décadas de 50 e 60 foram criados Grupos de Trabalhos (GT), organizados pela Superintendência de Saneamento (SURSAN), cujo objetivos fundamentais consistiam no diagnóstico seguido de indicação das melhorias de esgotamento da lagoa. Dentre os projetos previstos merece atenção o Interceptor da Lagoa que, iniciando-se na bacia da Elevatória José Mariano circundaria toda a lagoa eliminando-se as elevatórias existentes. O Interceptor da lagoa, complementar o sistema da Zona Sul junto com o Interceptor Oceânico, responsável pela coleta dos esgotos desde o bairro da Glória até Copacabana e a Estação de Pré-Condicionamento antes do lançamento no Emissário Submarino de Ipanema. Não foi possível, naquela época, a implantação do Interceptor da Lagoa e da Estação de Pré-Condicionamento. Uma sugestão deste trabalho é o Estudo da Viabilidade da complementação do macro sistema da Zona Sul, tendo em vista as novas tecnologias de assentamento de tubulação por métodos não destrutivos que poderiam favorecer a implantação desta proposta. A implantação do Interceptor da lagoa favoreceria a retirada de funcionamento das elevatórias existentes, com economia em manutenção e operação dos equipamentos eletro-eletrônicos. O Interceptor da lagoa poderia diminuir também a influência das contribuições de águas pluviais, tanto pela consideração inicial no dimensionamento quanto ao amortecimento natural que ocorre ao longo do seu caminhamento.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do CNPq, uma entidade do governo brasileiro, voltada ao desenvolvimento científico e tecnológico do País.

REFERÊNCIAS

- ABNT (1986). NBR-9.649 – *Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário*. Rio de Janeiro.
- AMBIENTAL Engenharia e Consultoria Ltda. (2001). *Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e Relatório de Impacto Ambiental (RIMA): Solução Integrada de Reabilitação da Lagoa Rodrigo de Freitas, Canal do Jardim de Alah e Praias do Arpoador, Ipanema e Leblon*. P-CRJ/SMAC/RIO-ÁGUAS.
- CONSÓRCIO COPPETEC/LOGOS. (2001). *Relatório Final da Auditoria Ambiental realizada no Sistema de Esgotamento Sanitário da bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas e sub-bacia do Rio Rainha*. SERH/CEDAE-RJ.
- ENNES, Y.M. (1998). *Vulnerabilidade dos Sistemas de Água Potável e de Esgotos Sanitários, da Cidade Brasileira de Belo Horizonte, Frente a Inundações e a Chuvas Intensas*. CEPIS/OPAS/OMS.
- D'ALCANTARA, W. (2003). *Análise crítica do sistema de coleta de esgotos sanitários da bacia contribuintes à Lagoa Rodrigo de Freitas através da avaliação de fatores que influenciam a sua vulnerabilidade*. Dissertação de Mestrado, PEAMB/UERJ, 116p. RJ.
- DIAS, A.P. (2003). *Análise da interconexão dos sistemas de esgotos sanitário e pluvial da Cidade do Rio de Janeiro: Valorização das coleções hídricas sob perspectiva sistêmica*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, PEAMB/UERJ, 248 pp. RJ.
- FARRER, H. (1996). *Guías para la elaboración del análisis de vulnerabilidad de sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario*. CEPIS/OPS/OMS. Lima, Perú.
- IBGE (2003) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio, www.ibge.gov.br, acessado em 06/07/2003.
- IBGE (2002). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Base de Informações por Setor Censitário – Censo Demográfico 2000*. Rio de Janeiro: IBGE.
- RIO DE JANEIRO, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro: *Zoneamento Urbano da Cidade do Rio de Janeiro*. Secretaria Municipal de Urbanismo, 1999 – CD-ROM.
- ROSSO T.C.A., et al (2002), *Gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas costeiras: Estudo de caso da Lagoa Rodrigo de Freitas*, In Anais: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió, CD-ROM.
- TSUTIYA, M.T.; BUENO, R.C.R.; CINTRA, E.M; REAMI, L. (2003). *Contribuição de Águas Pluviais em Sistemas de Esgotos Sanitários. Estudo de Caso da Cidade de Franca, Estado de São Paulo*. In: Anais do 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Joinville, SC.

Hydraulic Analysis Of The Sanitary Sewerage System Of The Hydrographic Basin Of Lagoa Rodrigo De Freitas, Rio De Janeiro

ABSTRACT

Rodrigo de Freitas Lagoon, in the Southern Zone of the city of Rio de Janeiro, receives a large amount of domestic sewage detected by water quality parameters. The region where it is located has a consolidated urbanization and a sanitary sewerage system that serves all of the resident population. It was implemented at the same time as urban development of the region, beginning in the end of the 19th century. The paper presents a critical analysis of the vulnerability of the sewage collections system using the SewerCad computer software, by Haestad Methods Incorporation, adapted to the design and analysis of gravity flow systems.

Key-words: domestic sewage, water quality.