

II-048 – SOLUÇÕES INOVADORAS PARA O ESCOAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS EM REGIÕES DE BAIXA DECLIVIDADE

Francisco Humberto Rodrigues da Cunha ⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Consultor da empresa SENHA ENGENHARIA e Conselheiro Nacional da ABES.

Alice Araújo Rodrigues da Cunha Rinaldi ⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Diretora Presidente da empresa SENHA ENGENHARIA.

Hudson Makio Nozu Shiota

Engenheiro Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Ex-coordenador de projetos da empresa SENHA ENGENHARIA.

Maíra Santana de Macedo

Engenheira Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Ex-coordenadora de projetos da empresa SENHA ENGENHARIA.

André Araújo Rezende ⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Coordenador de projetos da empresa SENHA ENGENHARIA.

Endereço⁽¹⁾: 11ª Avenida, 865, Setor Leste Universitário, Goiânia, GO, CEP 74.605-060 - Brasil. Tel: (62) 3202-4777. E-mail: humberto@senha.eng.br

RESUMO

Os sistemas convencionais de esgotamento sanitário em locais muito planos apresentam como característica típica a existência de uma ou mais sequências de bombeamentos que recalcam os esgotos recebidos nas sub-bacias mais afastadas, elevando-os sucessivamente para áreas vizinhas até alcançarem o destino final, e de maneira a manter profundidades economicamente viáveis nas tubulações. Assim, a concepção tradicional de engenharia resulta estações elevatórias de porte cada vez maior na medida em que estejam posicionadas mais a jusante, pois têm que bombear cumulativamente as contribuições vindas dos recalques a montante.

Por conseguinte, além dos elevados custos de implantação e despesas com energia elétrica, esses sistemas incorrem em severos riscos de falhas operacionais, pois, evidentemente, a paralização ou mau funcionamento de bombeamentos a jusante prejudica todo o fluxo proveniente das elevatórias de montante.

No contexto desses inquietantes dispêndios e inconvenientes operacionais, o presente trabalho aborda um consistente estudo que buscou - e obteve - inovações de engenharia e soluções tecnológicas para o escoamento sanitário em locais planos com o fim de tornar tais sistemas mais econômicos e operacionalmente mais eficientes em termos de funcionalidade e de consumo energético.

Tendo em foco um caso real de porte expressivo, o estudo desenvolveu uma solução de engenharia inovadora - o designado **Sistema RM** - que se mostrou bem mais econômico e eficiente que o sistema convencional, ao ponto de subsidiar o projeto e a implantação, em curso, de sistema de esgotos sanitários para uma extensa área de região metropolitana no litoral do nordeste brasileiro, gerando economia da ordem de 20% nos custos das obras e nas despesas energéticas frente à concepção convencional, além de proporcionar bem maior segurança, eficiência e confiabilidade operacional ao sistema, cabendo assinalar que as conclusões e soluções obtidas no estudo são plenamente aplicáveis ao esgotamento sanitário de qualquer região de baixa declividade.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética e Operacional, Confiabilidade do Esgotamento Sanitário em Regiões Planas, Redução de Custos Operacionais, Sistema RM - Eixo Adutor com Recalques em Marcha.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de esgotos sanitários de urbes muito planas quase sempre configuram um modelo denominado por SOBRINHO e TSUTIYA (2000) como do tipo “radial” ou “distrital”, em que a região a esgotar é segmentada em distritos independentes, conformando sub-bacias pequenas, em cada qual os esgotos fluem por gravidade, convergindo para um ponto baixo estratégico, a partir de onde são bombeados para o distrito vizinho mais conveniente ao fluxo, e assim prosseguem consecutivamente rumo ao destino final, sucedendo escoamentos livres e bombeamentos, conforme os condicionantes naturais e urbanísticos da região. Configura-se, portanto, um sistema com recalques em sequência, não raro entremeados por trechos com escoamento por gravidade.

Consequentemente, nesse modelo de sistema de esgoto as estações elevatórias assumem porte cada vez maior na medida em que recebem contribuições recalçadas de outras sub-bacias, podendo haver várias e seguidas instalações de grande porte que, obviamente, condicionam todo o fluxo provindo dos bombeamentos anteriores. Desta maneira, esses sistemas são muito vulneráveis operacionalmente, pois a paralização de uma elevatória, mesmo que parcial, pode comprometer o escoamento de vazões expressivas, por vezes a totalidade advinda de montante e que passa por aquela sub-bacia. Ao mesmo tempo, os custos de implantação desses sistemas são elevados, bem como as despesas operacionais - especialmente energéticas.

Em face desse conjunto desafiador de inconvenientes operacionais e econômicos, o estudo desenvolvido procurou inovar soluções de engenharia com a intenção de prover maior eficiência operacional em tais sistemas, inclusive energética, e reduzir os investimentos e despesas operacionais, tomando por base o caso significativo de uma ampla região litorânea densamente habitada, de relevo plano.

A área focada no estudo corresponde à maior parte da cidade de Jaboatão dos Guararapes, na porção litorânea da Região Metropolitana do Recife, Pernambuco, tendo sido concebidas e comparadas três soluções para o escoamento dos esgotos nesse local - a solução convencional e duas alternativas - como subsídio à elaboração dos projetos de engenharia do sistema de esgotos sanitários para toda a região, que extrapola a extensão plana.

Neste âmbito, o estudo tomou como horizonte das projeções técnico-econômicas o período de plano adotado no projeto, de 27 anos, com população final prevista a atender de 910 mil habitantes e vazão média estimada de aproximadamente 1.600 L/s. A Figura 1 delimita a região a ser coberta pelo sistema, destacando sua área plana, focalizada no estudo.

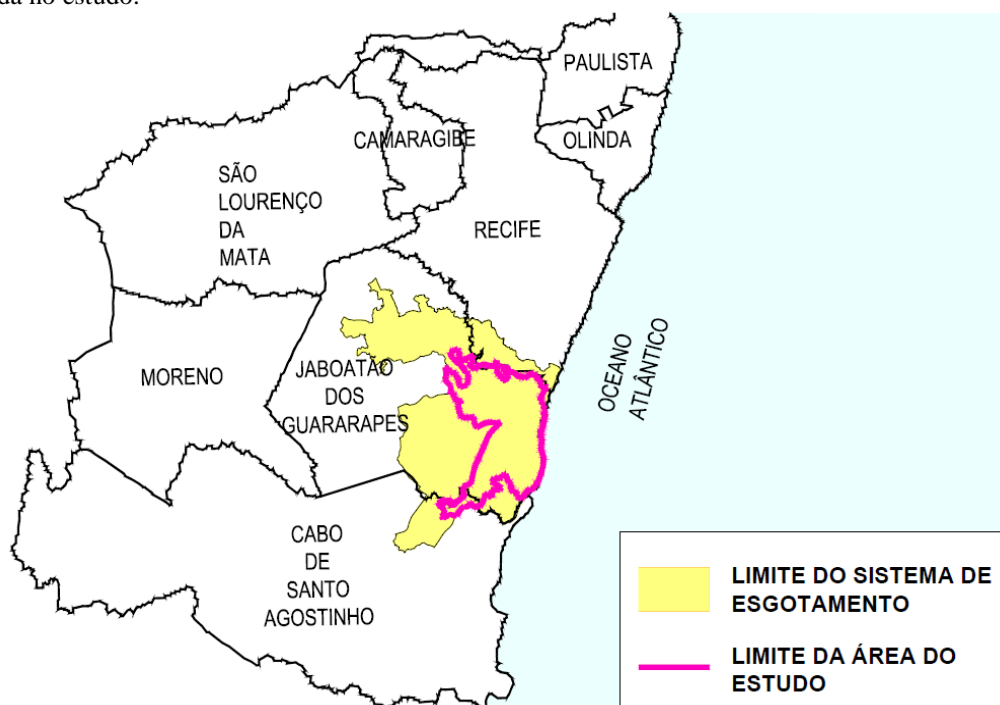


Figura 1: Limites da área de estudo e da cobertura do sistema de esgotamento.

OBJETIVO

Frente aos inconvenientes econômicos e operacionais intrínsecos a sistemas de esgotos sanitários de regiões acentuadamente planas, o estudo discorrido neste trabalho objetivou desenvolver soluções de engenharia alternativas à concepção convencional, incluindo inovações tecnológicas, com o intuito de se reduzir os custos de implantação e operação, e elevar o quanto possível a segurança operacional em tais sistemas.

METODOLOGIA UTILIZADA

Com foco no objetivo acima, inicialmente foram investigadas referências na literatura técnica a respeito de alternativas já cogitadas com o mesmo fim, mas a única alusão de interesse encontrada concerne à solução hidráulica implantada pela SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo para o sistema de recalque de esgotos sanitários de Bertioxa, SP.

Buscou-se então formular soluções de engenharia hidráulica que possam inovar para tornar mais adequado o esgotamento sanitário de extensas áreas planas, tendo sido primeiramente idealizado o 'Sistema de Eixo Adutor com Torres de Carga', aprimorando a experiência da SABESP. Aprofundando os estudos, ao final foi concebido o 'Sistema de Eixo Adutor com Recalques em Marcha'.

Esses dois sistemas alternativos ao modelo convencional têm como premissa comum que cada estação elevatória bombeie somente os esgotos oriundos de sua própria sub-bacia, sem acumular contribuições de outros recalques. Para escoar os efluentes provindos das diversas elevatórias emprega-se uma linha de adução coletiva, chamada 'eixo adutor', que recebe somente esses aportes ao longo de toda sua extensão, escoando-as conjuntamente, por gravidade, mas sob pressão, até o destino final - no caso, a estação de tratamento. Deste modo, os esgotos bombeados por qualquer elevatória seguem até o destino final independentemente de funcionamento das demais.

No caso específico da solução denominada 'Sistema de Eixo Adutor com Torres de Carga', as elevatórias bombeiam exclusivamente para torres hidráulicas intercaladas no eixo adutor, que recebem os esgotos por cima, e a partir daí o escoamento prossegue sob pressão no conduto do eixo, mas por gravidade. Já no 'Sistema de Eixo Adutor com Recalques em Marcha', as linhas de recalque das elevatórias são conectadas diretamente no eixo adutor, que é interceptado por torres de carga apenas em poucos pontos estratégicos, de modo a assegurar o adequado fluxo por gravidade, inclusive dissipando transientes hidráulicos.

Nesses dois sistemas alternativos, as torres de carga podem ter volumes bem pequenos, possivelmente sendo constituídas até mesmo por simples tubulação vertical, mas sempre tendo altura suficiente para superar a linha piezométrica no eixo adutor, sob as mais variadas condições hidráulicas de funcionamento do sistema.

Assim, a partir das três soluções hidráulicas contempladas para o escoamento sanitário em regiões planas - 'Sistema Convencional', 'Sistema de Torres de Carga' e 'Sistema de Recalques em Marcha' - foram desenvolvidas três respectivas concepções de engenharia para a área de estudo. As unidades hidráulicas referentes a cada uma destas foram dimensionadas segundo os métodos, procedimentos e parâmetros comumente empregados. Os fluxogramas apresentados na Figura 2, folha seguinte, representam esquematicamente esses sistemas, indicando as unidades típicas e os fluxos de esgoto em cada um.

Em seguida foi elaborado estudo comparativo de custos - de implantação e operacionais - bem como dos aspectos técnico-operacionais relevantes à confrontação das três soluções concorrentes.

Os custos de implantação das diversas unidades componentes dos sistemas foram avaliados com base em cotações de preços dos materiais e equipamentos principais, e em orçamentos consolidados à época do estudo, concernentes a projetos executivos de unidades similares. As despesas operacionais com consumo e demanda de energia elétrica foram calculadas ano a ano, cobrindo todo o período de plano, e ao final foram remetidas a valor presente mediante a aplicação da taxa de desconto (juros) de 12% ao ano. Destaca-se, em particular, que para o Sistema de Recalques em Marcha foram consideradas as potências médias consumidas nas elevatórias, pois como suas linhas de recalque são conectadas diretamente ao eixo adutor, as alturas manométricas são variáveis, sendo consistente adotar seus valores médios, correspondentes ao consumo de potência média.

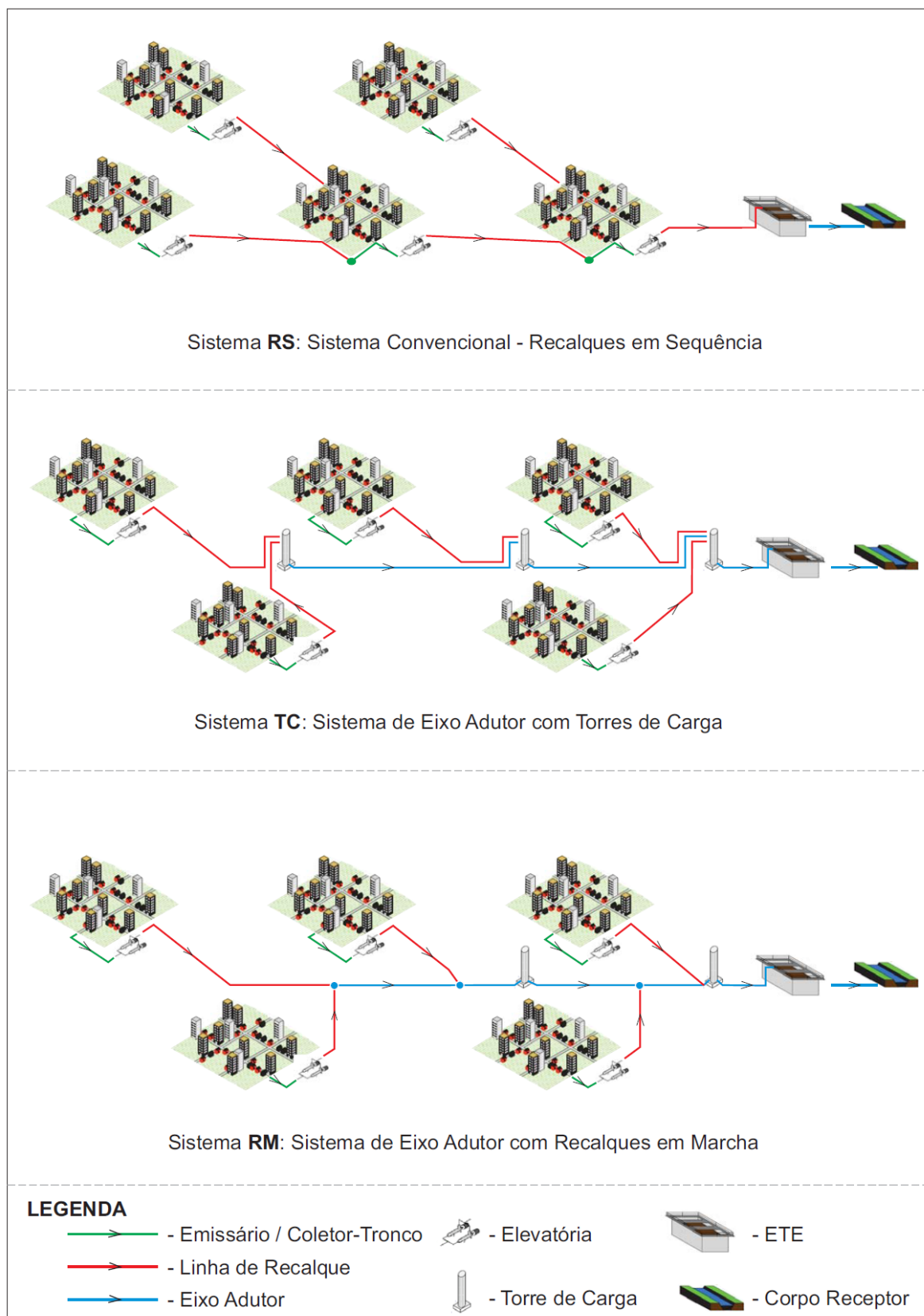


Figura 2: Fluxogramas típicos dos três sistemas de escoamento estudados.

RESULTADOS

Os três sistemas avaliados no estudo foram identificados simplificada e conforme se segue:

- **Sistema RS:** Sistema Convencional - de Recalques em Sequência;
- **Sistema TC:** Sistema de Eixo Adutor com Torres de Carga;
- **Sistema RM:** Sistema de Eixo Adutor com Recalques em Marcha.

A Tabela 1 resume as principais grandezas das unidades concernentes a cada uma das concepções advindas desses três sistemas.

Tabela 1: Síntese das grandezas principais das unidades componentes de cada sistema cogitado.

Concepção - Sistema	Extensão de Emissários (m)	Quant. de Estações Elevatórias (un.)				Extensão de Linhas de Recalque (m)	Quant. de Torres de Carga (un.)	Extensão de Eixo Adutor (m)
		Vazões até 75 L/s	Entre 75 e 100 L/s	Acima de 100 L/s	Total			
RS	2.630	10	3	12	25	53.045	0	0
TC	0	17	1	5	23	30.015	10	19.485
RM	0	17	1	5	23	24.155	8	21.450

A partir das características, dimensões e capacidades definidas para as diversas unidades integrantes dos três sistemas de escoamento cogitados, foram determinados os respectivos custos de implantação e despesas operacionais com energia elétrica, cobrindo todo o período de plano - de 27 anos - conforme a metodologia descrita no item anterior. A Tabela 2 e a Figura 3 sintetizam os resultados obtidos.

Tabela 2: Comparação econômica dos sistemas de esgotamento cogitados.

Concepção - Sistema	Custos, em Valor Presente (R\$)		
	Implantação	Operação	Total
Convencional - RS	39.484.906,30	9.630.037,50	49.114.943,80
Torres de Carga - TC	31.618.972,00	8.854.741,61	40.473.713,61
Recalques em Marcha - RM	31.509.584,34	7.304.838,66	38.814.423,00

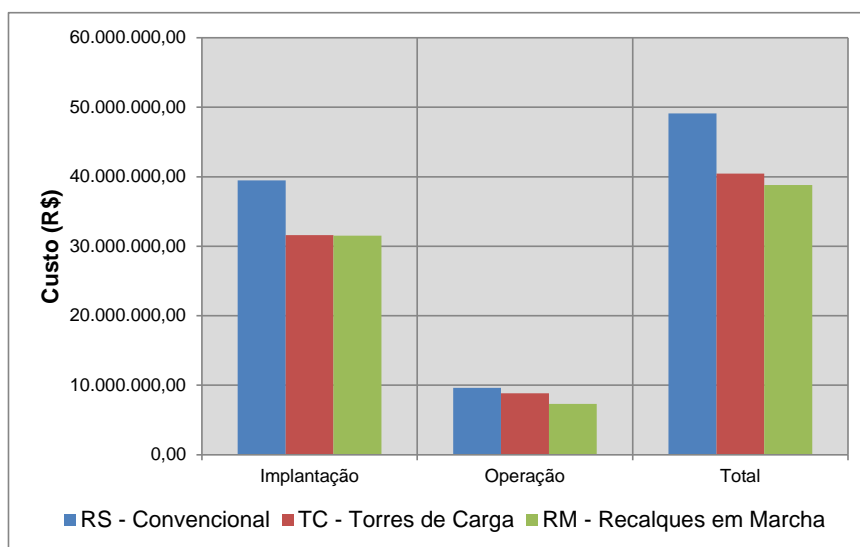


Figura 3: Gráfico de comparação econômica dos sistemas cogitados.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

No tocante aos cotejamentos econômicos, a Tabela 2 revela que os custos de implantação dos Sistemas TC e RM se equivalem e são expressivamente menores que do Sistema RS - Convencional, com economia da ordem de 20% nos investimentos. Quanto às despesas operacionais com energia elétrica, o Sistema RM (Recalques em Marcha) sagra-se largamente mais vantajoso, pois economiza 24% comparativamente ao Sistema Convencional e 17% frente ao Sistema TC (Torres de Carga).

Com referência a aspectos de operação e manutenção (O&M), os dados expressos na Tabela 1 mostram que os Sistemas TC e RM requerem menor quantidade de estações elevatórias que o Sistema RS (Convencional) e, sobretudo, resultam portes bem menores destas, pois, como indicado nos fluxogramas da Figura 2, as instalações de recalque desses sistemas não acumulam vazões recalçadas de umas sub-bacias para outras, como acontece no Sistema Convencional.

No caso focado pelo estudo, a solução convencional (Sistema RS) necessitou de 12 elevatórias com vazões superiores a 100 L/s, enquanto nos Sistemas TC e RM essa quantidade foi reduzida para apenas 5, cabendo lembrar que pequenas capacidades facilitam muito a manutenção das instalações. Ilustrando essas disparidades de porte, em uma das elevatórias do Sistema RS a vazão a recalcar atingiu 336 L/s, ao passo que nas soluções alternativas (Sistemas TC e RM) a vazão da mesma foi inferior a 100 L/s.

Do ponto de vista operacional, os sistemas alternativos - TC e RM - também se destacam bastante em relação ao convencional (Sistema RS) por eliminar as sequências de bombeamentos típicas deste, que oportunizam bem maiores riscos de colapso no fluxo de esgotos, enfatizando que o mau funcionamento ou paralização de qualquer das elevatórias de jusante prejudica o escoamento dos efluentes oriundos dos recalques a montante, podendo advir diversos problemas e danos ambientais, por retenção e/ou extravasamento de afluentes.

Outro melindre operacional atinente à solução convencional é que, para não haver mistura do esgoto preliminarmente tratado em uma elevatória de montante com o esgoto bruto da sub-bacia seguinte, são necessários prolongamentos das linhas de recalque e/ou trechos de emissários, às vezes longos, para conduzir exclusivamente o efluente daquele bombeamento até a próxima elevatória. Nos casos em que tal medida não é viável, o tratamento preliminar da elevatória de jusante deve ter capacidade maior, para comportar a vazão acrescentada pelo recalque anterior, o que eleva tanto os custos de implantação quanto a complexidade de O&M das instalações. Por essas razões, o Sistema RS abarca emissários e linhas de recalque de maiores extensões que nos sistemas alternativos, conforme ilustra a Tabela 1.

Por outro lado, há de se ponderar que os eixos adutores dos Sistemas TC e RM escoam vazões variáveis, sob pressão, por gravidade, condição que orienta prover dispositivos hidráulicos para facilitar eventuais limpezas de sedimentos naquelas tubulações, especialmente por meio de pigs. Outro dispositivo inerente a esses eixos consiste nas torres de carga. Entretanto, além de serem elementos não operáveis, ocupam áreas muito pequenas, observando ainda o argumento de que os eixos adutores tornam as elevatórias menos numerosas e de portes bem menores que no Sistema Convencional. Ponderando todos esses aspectos, vê-se que os Sistemas TC e RM demandam áreas e cuidados de O&M bem menores que no sistema convencional.

Por último, ainda em referência a serviços de O&M, a comparação específica entre os sistemas alternativos - TC e RM - denota que o Sistema RM apresenta certa vantagem por demandar menor quantidade de torres de carga.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os sistemas convencionais de esgotamento sanitário de locais muito planos têm, como característica típica, uma ou mais sequências de bombeamentos, englobando estações elevatórias de portes progressivamente maiores a jusante, que acarretam substanciais custos de implantação e despesas com energia elétrica, além de ensejarem riscos graves à segurança operacional desses sistemas, pois, evidentemente, a paralização ou mau funcionamento de elevatórias a jusante impede ou prejudica o fluxo proveniente dos recalques de montante.

Com efeito, os grandes custos e fragilidades operacionais inerentes aos sucessivos bombeamentos nos sistemas de esgotamento sanitário de regiões planas remanescem desafiando a engenharia sanitária, cabendo lembrar que as despesas com energia elétrica no saneamento se elevaram muito ao longo das últimas décadas e hoje geralmente atingem de 10 a 60% do custo total desses serviços, a depender principalmente das alturas e vazões nos bombeamentos, e quase sempre ficam abaixo apenas dos gastos com pessoal.

Esta imposição econômica tem intensificado a busca por maior eficiência energética nas instalações e equipamentos, especialmente de elevatórias, que em geral determinam cerca de 90% dos custos energéticos nos sistemas de água e esgoto. Como bom exemplo dessas iniciativas, pode-se citar o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel) Sanear / Eletrobrás, que fomentou um conjunto significativo de ações para reduzir e racionalizar o consumo de energia no saneamento.

Contudo, observando a convergência dos esforços dispendidos, nota-se que a maior parte tem sido com o objetivo de aprimorar equipamentos e instalações dos sistemas, enquanto pouca ou nenhuma atenção tem se voltado a inovações de engenharia que possam propiciar economia das potências demandadas.

Diferindo dessa tendência e frente ao referido quadro de enormes dispêndios e inconvenientes operacionais que afetam os sistemas de esgotos de regiões planas, o estudo aqui abordado logrou obter relevante inovação de engenharia no sentido de torná-los bem mais econômicos, eficientes e operacionalmente confiáveis, desenvolvendo a solução designada Sistema de Eixo Adutor com Recalques em Marcha - **Sistema RM**.

Os resultados das avaliações técnico-operacionais e econômicas levadas a efeito no estudo demonstram que os dois sistemas alternativos contemplados (Sistemas TC e RM) são significativamente mais econômicos que o Convencional - RS, tanto em termos de investimentos em obras (custos cerca de 20% menores), quanto de despesas operacionais com energia elétrica.

Em relação aos aspectos operacionais, os Sistemas TC e RM também oferecem vantagens expressivas frente ao Convencional, pela maior confiabilidade que asseguram ao escoamento dos esgotos, eliminando a possibilidade de represamento e/ou extravasão de efluentes bombeados provindos de montante, no caso de mau funcionamento ou paralização de elevatórias posicionadas a jusante.

A comparação específica entre os dois sistemas alternativos evidencia que o Sistema RM proporciona custos operacionais 18% menores que o Sistema TC, além de requerer menor quantidade de torres de carga.

Com embasamento nesse conjunto de motivos, o estudo aponta nitidamente o Sistema RM como solução inovadora bem mais viável e adequada para o esgotamento sanitário de regiões planas, trazendo larga margem de economia tanto nos custos das obras, quanto nas despesas operacionais com energia elétrica, e adicionalmente, elevando a confiabilidade operacional do serviço.

Vale comentar que, diante dessas conclusões, a solução correspondente ao Sistema RM foi validada e efetivamente aplicada nos projetos de engenharia do sistema de esgoto da área focada no estudo - cidade de Jaboatão dos Guararapes, Região Metropolitana do Recife, Pernambuco - cuja implantação já está iniciada.

Por fim, salienta-se que as soluções e conclusões relatadas neste trabalho são plenamente aplicáveis ao esgotamento sanitário de qualquer região marcadamente plana, recomendando-se, de uma forma geral, que seja sempre contemplada a adoção do Sistema RM em tais casos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SOBRINHO, P. A. & TSUTIYA, M. T. Coleta e transporte de esgoto sanitário. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2ª edição, São Paulo, 2000.
2. CUNHA, A. A. R. *et alii*. Redução de Custos Energéticos em Sistemas de Água pelo Aproveitamento de Excedentes Hidráulicos para a Movimentação de Bombas. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, Recife, Pernambuco, 2009.