

AUTOMAÇÃO DE REATOR DE LEITO EXPANDIDO EM ESCALA PLENA COM ZONAS ANAERÓBIA E AERÓBIA SOBREPOSTAS PARA TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

Antonio Wagner Lamon^{1*}, Neyson Martins Mendonça², Arnaldo Sarti¹, Paulo Eduardo Silveira³, José Roberto Campos¹

1- Departamento de Hidráulica e Saneamento (EESC/USP) - LATAR - Departamento de Hidráulica e Saneamento, Av. Trabalhador São Carlense, 400, São Carlos (SP), CEP: 13566-590, Tel.:(16) 3373-9559 Fax:(16) 3373-9550

2- Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal do Pará (UFPA)

3- Departamento de Engenharia Mecânica - Universidade São Francisco (Itatiba – SP).

*E-mail: waglamon@sc.usp.br.

Recebido em 02 de julho de 2008

Aceito em 17 de agosto de 2008

RESUMO

O trabalho tem por objetivo principal apresentar a arquitetura de controle desenvolvida para automação do reator de leito expandido em escala plena (159 m³), considerando a flexibilidade do sistema em operar sob condições: anaeróbia e aeróbia distintas ou anaeróbia-aeróbia conjunta. O reator de leito expandido faz parte da estação de tratamento de esgoto (ETE) do *campus* da Universidade de São Paulo (São Carlos) e, portanto, a abrangência da automação incluiu a estação elevatória e tanque pulmão de esgoto bruto (30 m³). Esta automação está baseada no uso de Controladores Lógicos Programáveis (CLP) que são equipamentos eletrônicos utilizados para aplicações em sistemas de acionamentos e de controle. Resultados típicos de monitoramento (físico-químico) foram incluídos visando demonstrar o desempenho e a potencialidade desta configuração de reator no tratamento de esgoto sanitário.

Palavras-Chave: Automação, anaeróbio-aeróbio, reator de leito expandido, esgoto sanitário.

1 Introdução

No Brasil, segundo o diagnóstico de água e esgoto de 2001, publicado pelo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em 2001, cerca de 75,6% da população brasileira residem em áreas urbanas, o que ocasiona produção diária de 14,5 milhões de metros cúbicos de esgoto, sendo apenas 25,6% (média nacional) desses são encaminhados a tratamento. Para solução do problema, pesquisadores, projetistas e companhias de saneamento direcionam esforços no desenvolvimento de sistemas capazes de reverterem o quadro e atender requisitos como: compactidade, produção reduzida de lodo, consumo energético baixo, confiabilidade e adequação às condições climáticas no país (Campos, 1989).

Dentre as várias opções para se tratar o esgoto sanitário, a tecnologia de tratamento com reator anaeróbio de leito expandido (RANALEX) constitui-se de unidade de alta taxa com potencialidade de tratar efluentes com sólidos suspensos sem problemas de colmatação de leito, menor área para implantação, alta retenção de microrganismos (importante no processo anaeróbio), além de não necessitar de decantador secundário (Mendonça et al., 2004).

Desde 1984, o grupo de pesquisadores em tratamento avançado e reuso do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (USP) iniciaram estudos com o reator RANALEX enfocando aspectos como: atividade e grupos microbianos no biofilme

(Araújo, 1995); hidrodinâmico (Silva, 1995); sobrecarga orgânica (Therezo, 1993); projeto e construção (Pereira & Campos, 2000) e estratégia de partida (Mendonça, 1999).

Silveira & Santos (1998) descrevem automação como o conjunto de técnicas, por meio das quais se constroem sistemas ativos, capazes de atuar com eficiência maximizada pelo uso de informações recebidas do meio sobre o qual atuam. Com base nas informações, o sistema calcula a ação corretiva apropriada para execução da ação e esta é a característica de sistemas em malha fechada, conhecidos como sistemas de realimentação. Para tanto, são utilizados controladores que, por meio da execução algorítmica de programa ou circuito eletrônico, comparam o valor atual com o valor desejado, efetuando cálculo para ajuste e correção.

Especificamente, os CLPs (Controladores Lógicos Programáveis), são equipamentos eletrônicos utilizados em sistemas de automação flexível. São ferramentas de trabalho muito úteis e versáteis para aplicações em sistemas de acionamentos e controle, e por isso são utilizados em grande escala no mercado industrial. Permitem desenvolver e alterar facilmente a lógica para acionamento das saídas em função das entradas. Desta forma, podemos associar diversos sinais de entrada para controlar diversos atuadores ligados nos pontos de saída (Sarti et al., 2003).

A necessidade de sistemas de controle de processo mais sofisticados para as plantas de tratamento de água e

saneamento é uma realidade. Os requisitos de alta disponibilidade, fácil operação, supervisão local e remota das operações e diagnóstico otimizado dos eventos impõem uma demanda tecnológica crescente sobre as soluções de controle implementadas nos novos projetos. Para atender plenamente a todas estas demandas a escolha da arquitetura do sistema de automação é de vital importância, pois uma decisão baseada apenas no custo inicial do investimento pode-se revelar bastante desvantajosa ao longo da vida útil da instalação, se as opções de expansão, flexibilidade para alterações posteriores e conectividade com outros sistemas revelarem-se limitadas, inadequadas ou inexistentes. Segundo Mário Filho (2001), a automação em saneamento ainda é pontual. Isso é reflexo da falta de recursos das companhias de saneamento, majoritariamente estatais. Outro entrave enfrentado para a adoção da automação nesse segmento é o aspecto geográfico, que influencia os meios de comunicação. Geralmente as unidades de monitoração e controle remotos estão instaladas em locais que não possuem infra-estrutura de telecomunicação ou energia elétrica, implicando até o aproveitamento de estruturas alternativas (Moreira, 2002).

Esse trabalho é caracterizado, principalmente, pelo elevado grau de inovação, tendo em vista, a não existência de reatores similares em operação no Brasil em escala plena dado à especificidade nos conceitos envolvidos para cada sistema de tratamento projetado, ou seja, mesmo em sistemas de tratamento semelhantes é possível se observar variações, como por exemplo, na arquitetura de *software* ou mesmo na estratégia de controle onde quantidades e tipos de dispositivos ativos podem diferir.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Recentemente implantou-se no *campus* da USP (São Carlos), reator de leito expandido em escala plena, como parte integrante da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Universidade. Tal reator, com capacidade de tratar de 10 a 40 m³.h⁻¹, foi construído de concreto armado, tendo 17,90 m de altura total e volume de 159 m³. Internamente o reator é composto pelas zonas de reação e sedimentação, sendo que a de reação tem regiões anaeróbia e aeróbia, as quais são formadas mediante a aplicação de taxas diferentes de recirculações (via bomba) nas respectivas regiões e distribuição de oxigênio puro ocorre ao final da região anaeróbia. Na Fig.1 apresenta-se o fluxograma de esquemático do reator RANALEX.

Para efetiva operação do RANALEX e outras unidades da ETE (estação elevatória da Estação de Tratamento de Esgotos) foram desenvolvidos o sistema de automação e de controle composto de aparatos eletrônicos e eletromecânicos, computador, CLP's e software específico para execução de todas as etapas envolvidas e as variantes do processo de operação. O projeto da automação foi complexo requerendo forte interação entre a engenharia de processo e a engenharia de controle.

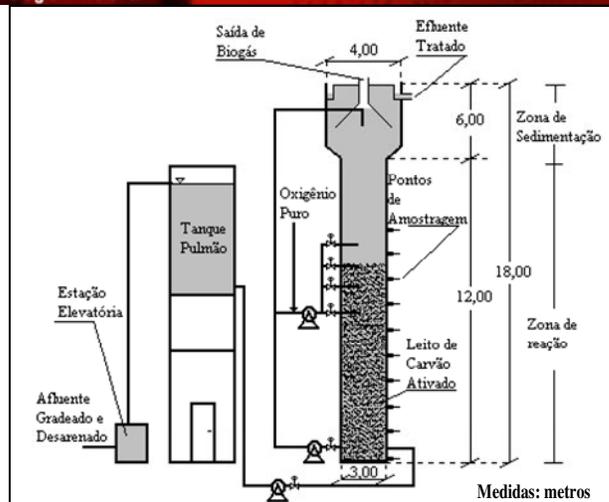


Figura 1. Fluxograma esquemático de operação do RANALEX.

2.1 Instalação Experimental

Para a execução do sistema de automação foram instalados vários equipamentos como:

- Medidor ultrasônico (ISCO-4210) para registro da vazão da ETE (Calha Parshall).
- Conversor de frequência (SIEMENS) para controle de vazão do conjunto moto-bomba (IMBIL-E3) da estação elevatória ao tanque pulmão.
- Conversores de frequência (DANFOSS VLT-5011; DANFOSS VLT-5016 e DANFOSS VLT-5032) para controle de vazão dos conjuntos moto-bombas de recirculação (zonas anaeróbia e aeróbia) e bombeamento de esgoto bruto do tanque pulmão para o RANALEX.
- Medidor de vazão eletromagnético (CONAUT-IFS 4000/67) para controle de vazão afluente a ser tratada.
- Válvulas micro-processadas (T&S- MOT 600) tipo *wafar* para tubulações de $\phi 1000$ mm (2 unidades) e $\phi 150$ mm (1 unidade).
- CLP (ATOS-MCP4004).
- Microcomputador (PentiumIII -124 RAM).
- Medidor ultrasônico (NIVOCAL-PQS 220) para controle de nível do tanque pulmão.

2.2 Arquitetura de Controle e Operação do Reator de Leito Expandido

A arquitetura de controle do reator de leito expandido foi desenvolvida de maneira que essa unidade de tratamento

puдesse ter flexibilidade operacional de operar sob condições: anaeróbia e aeróbia distintas ou anaeróbia-aeróbia conjunta. Na Fig. 2 apresenta-se a vista geral da Estação de Tratamento de Esgoto do *campus* da USP (São Carlos) com a presença do reator RANALEX e na Fig. 3 pode ser observado o diagrama esquemático da arquitetura de controle implementada na Estação Elevatória, tanque pulmão e no Reator RANALEX.

O controle dos instrumentos e equipamentos instalados na Estação Elevatória, no tanque pulmão e no RANALEX é realizado mediante o auxílio de Controlador Lógico Programável (CLP) e de *software* supervisorío SCADA-T&S (Fig. 4), desenvolvido em linguagem DELPHI 3.0, os quais são responsáveis por manter as condições operacionais implementadas pelo usuário e a aquisição de dados como: válvulas automáticas microprocessadas (*on/off*), nível do tanque pulmão, vazão de esgoto tratado, "status" dos conjuntos motor-bomba (Elevatória e RANALEX-alimentação e recirculação), bem como o número de horas de funcionamento, potência e frequência dos conjuntos moto-bombas Bel., B1, B2 e B3.

Existe a possibilidade de operação via IHM - Interface Homem-Máquina, que é um painel de controle programável, que apresenta para o usuário mensagens de acordo com as condições dos sinais de entrada e saída, permitindo que o operador tome ciência da condição do sistema ou equipamento que está sendo controlado. Este acessório é utilizado como sistema supervisorío e apresenta mensagens de emergência ou de parada por problemas técnicos.

Para efetivo controle foi utilizado o *software* supervisorío SCADA-T&S em microcomputador, onde é possível reproduzir com grande perfeição o processo de operação, o que torna a interface com o operador muito mais amigável e segura.

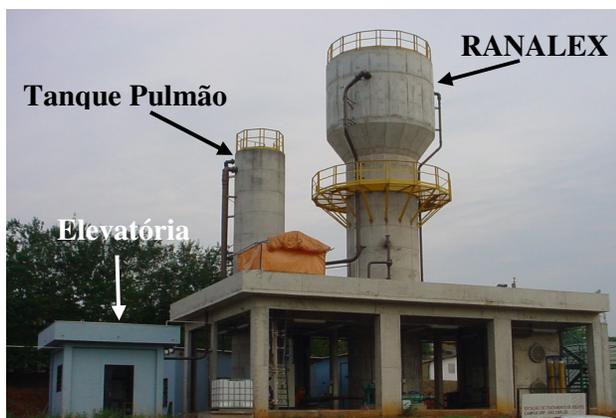


Figura 2. Vista geral da ETE (USP - São Carlos).

A seguir descreve-se a operação do sistema de tratamento de esgoto sanitário em questão (Fig. 1) desenvolvido no *campus* da USP (São Carlos). O esgoto sanitário gerado na USP (São Carlos) mais parcela oriunda do interceptor de esgoto da cidade de São Carlos é encaminhado por gravidade até a unidade preliminar, na qual se efetuam as operações de gradeamento, desarenação e

medição vazão de esgoto bruto na calha *Parshall* por sensor ultra-sônico (ISCO-4210), depois disso o CLP aciona o (a partir de 6,0 m do fundo do reator-bomba B3). Este último constituído pela injeção de oxigênio puro com auxílio de difusores *in-line* na corrente de recirculação da zona aeróbia do reator (Fig. 4). Em relação à zona aeróbia, esta pode ser modificada em termos de altura pela existência de sistema de válvulas e "by-pass", o que na verdade, permite regular a altura da zona aerada, criando-se a possibilidade de minimizar o consumo de oxigênio. Tal operação é realizada de maneira manual, portanto, com possibilidade de ser automatizada e controlada, por exemplo, em função da concentração de oxigênio dissolvido medida no meio líquido. A automatização desse processo seria relativamente simples se feita via CLP, com o auxílio de válvula com abertura proporcional para vazão do oxigênio.

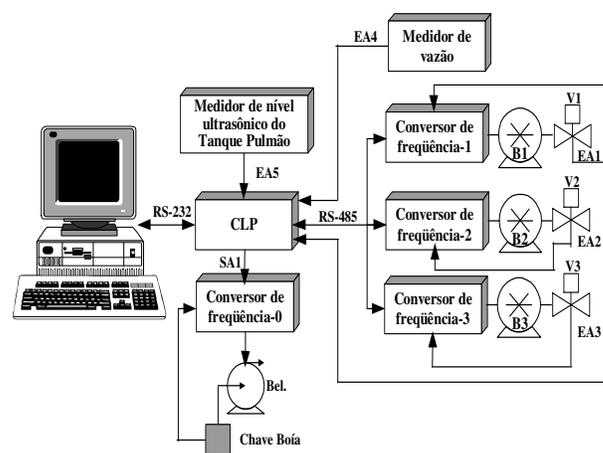


Figura 3. Diagrama em blocos da automação da estação elevatória, tanque pulmão e do reator de leito expandido (RANALEX).

A comunicação entre o microcomputador e o CLP foi realizada por meio de interface serial RS232 e a comunicação entre os inversores de frequência e o CLP via protocolo RS485. Foram utilizadas três entradas analógicas do CLP, sendo a primeira conectada ao medidor do tipo eletromagnético (\varnothing 100mm) para leitura das medidas de vazão que é parte integrante do *link* de controle da vazão de saída do reator. A segunda entrada permitiu a verificação do estado da válvula de segurança da linha de alimentação do reator e a terceira, conectada ao inversor das bombas da estação elevatória para envio de comando *on/off* de acordo com o nível do tanque pulmão que é constantemente monitorado pelo *software* e medido por meio de medidor ultra-sônico de nível.

Toda a instrumentação, bem como todos os dispositivos de segurança e de proteção elétrica foram instalados dentro de um painel metálico segundo normas de segurança para este tipo de instalação (Fig. 5). Apenas o microcomputador foi instalado em local reservado denominado casa de controle (Fig. 3).

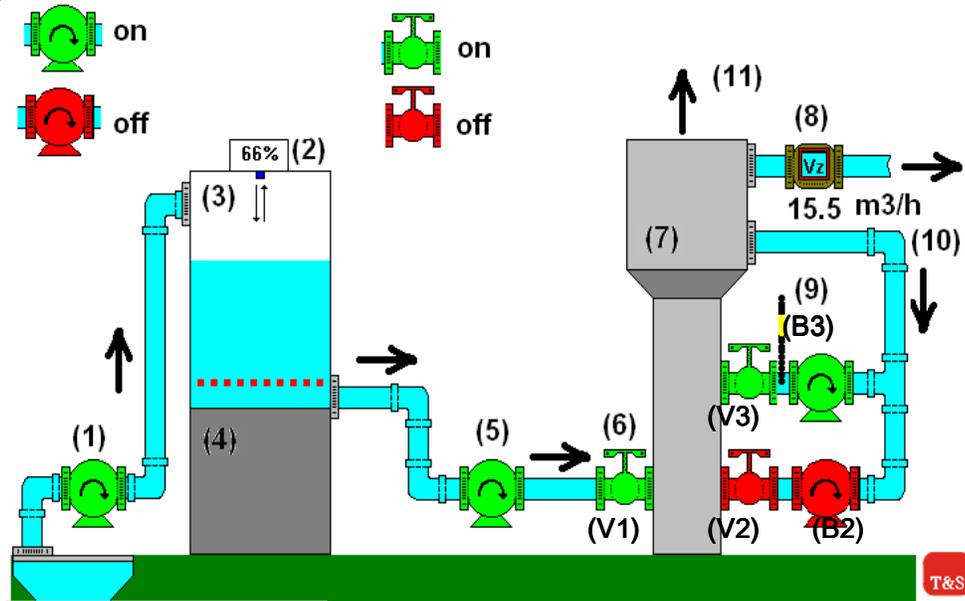


Figura 4. Tela do software supervisório SCADA (T&S) utilizado para automação.

Legenda:

1. Bomba centrífuga – Estação Elevatória (Bel)
2. Medidor de nível ultra-sônico (Tanque pulmão)
3. Tanque pulmão
4. Casa de controle (microcomputador)
5. Bomba de deslocamento positivo (B1)
6. Válvula de segurança (V1)

7. RANALEX
8. Medidor de vazão eletromagnético (esgoto tratado)
9. Sistema de aerização
10. Sistema de recirculação de líquido (bombas de deslocamento positivo: B2 e B3) e válvulas de segurança (V2 e V3)
11. Saída do biogás.



Figura 5. Painel elétrico para montagem dos dispositivos de proteção, conversores, CLP, medidores de vazão e de nível.

As válvulas automáticas de segurança (V1, V2 e V3) cumprem um papel importante no sistema de controle. A opção das mesmas foi motivada pela necessidade de impedir o retorno de material suporte (carvão ativado: 2 mm) do reator RANALEX no caso de eventual problema nas bombas ou falha no abastecimento de energia elétrica. Estas válvulas são dotadas de dispositivo que monitora a alimentação elétrica e na falta ou oscilação acentuada um comando é enviado para que elas se fechem movidas por baterias e permanecendo fechadas até novo comando do operador via supervisório para reinício do processo. Salienta-se que as válvulas automáticas possuem links com os respectivos inversores que controlam as bombas e no caso

de falha mecânica, os inversores são habilitados para enviar comando *off* para as válvulas (fechamento).

Na Tab.1 observam-se as características operacionais sumarizadas aplicadas ao RANALEX, sob condição integrada de ambientes anaeróbio-aeróbio, oriundas de resultados preliminares de ensaios de laboratório (granulometria do material suporte, teste hidrodinâmico, transferência de oxigênio, cinética de nitrificação, taxa de consumo de oxigênio e formação do biofilme aeróbio) obtidos por Mendonça (2004).

Tabela 1. Condições de operação do reator anaeróbio-aeróbio de leito expandido.

Variáveis	Zona anaeróbia	Zona aeróbia
Q ($m^3 \cdot h^{-1}$)	16	16
θ_H (h)	5,38	5,38
V_a ($m \cdot h^{-1}$)	5,0	7,0
R	-	2,0
Vz (%)	50	50

Legenda: Q : vazão, V_a : velocidade ascensional; R: taxa de recirculação; θ_H : tempo de detenção hidráulica e Vz: relação de volumes entre as zonas anaeróbia e aeróbia.

2.3 Monitoramento da Unidade de Tratamento (RANALEX)

O RANALEX tem sido monitorado desde sua entrada em operação (julho/2003) por meio de perfis temporais (24 horas), mediante a coleta de amostras do afluente e do

efluente do reator a cada 3 horas. Nessas amostras foram determinadas as seguintes variáveis físico-químicas: temperatura, pH, condutividade, oxigênio dissolvido (OD), potencial de oxi-redução (POR), DBO, DQO (total e filtrada-1,2 μm), sólidos suspensos totais (SST), nitrogênio amoniacal (N-amoniacal), nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e fosfato (PO_4^{3-}). Essas variáveis obedecem a recomendações conforme Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998).

As análises para determinação da concentração de ácidos voláteis totais (AV), como ácido acético, e alcalinidade a bicarbonato (AB) seguiram as metodologias descritas por Dillalo & Albertson (1961) e Ripley et al. (1986), respectivamente. A temperatura, pH, POR e OD foram monitorados por meio de multisonda modelo YSI-600XL (Yellow Spring-600).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Desde o início da operação do reator RANALEX (julho/2003) não foram detectados problemas relativos ao sistema de automação utilizado. Problemas como falta de energia elétrica, obviamente, causaram colapso no sistema que, por opção na concepção da arquitetura da automação poderia ou não reiniciar automaticamente o processo tão logo o fornecimento de energia elétrica fosse restabelecido.

No caso específico da ETE-USP, optou-se por uma parada completa do sistema com a apresentação de mensagem de “FALHA NA ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA” na tela do supervísório, cabendo ao operador da ETE fazer verificação prévia no sistema e, então, reiniciar manualmente o processo.

As informações como data e horário são registrados, o que permite a obtenção de histórico ao longo do tempo de

operação relativo a este tipo de ocorrência. Portanto, a partir da possibilidade de se gerar mais informações nos sistemas automatizados, viabiliza-se também, aprofundar os estudos sobre a metodologia aplicada.

Com certeza, existem ainda, pela análise de um observador atento, inúmeros fatores de controle que podem ser implantados ao sistema proposto, porém, isso acarreta a cada passo um aumento nos custos de implantação e de manutenção, fator esse, que deve ser ponderado, considerando-se o custo benefício.

A seguir são apresentadas algumas medidas típicas de variáveis e resultados operacionais e analíticos obtidos durante a operação do RANALEX e unidades anexas no sistema de tratamento de esgoto sanitário da ETE (USP-São Carlos). A Fig. 6 ilustra a variação diária da vazão na calha Parshall e a Fig. 7 apresenta a vazão de esgoto desarenado juntamente com as demandas das bombas B1, B2 e B3 durante a operação do RANALEX, sob condições anaeróbia-aeróbia.

Na Fig. 6, Hi representa os hidrogramas individuais de cada dia para o período de 16 a 21/07/2003 e HM é a média aritmética dos hidrogramas individuais. Pela observação dos dados na Figura 6, é possível notar que o hidrograma da ETE-USP apresenta valores de vazão máxima ($Q_{\text{máx.}}$), média ($Q_{\text{méd.}}$) e mínima ($Q_{\text{mín.}}$) de 41 ($11,4 \text{ L.s}^{-1}$), 27 ($7,5 \text{ L.s}^{-1}$) e $12 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ ($3,3 \text{ L.s}^{-1}$), respectivamente. Tais valores indicam relação de 1,52 e 0,44 entre $Q_{\text{máx.}}/Q_{\text{méd.}}$ e $Q_{\text{mín.}}/Q_{\text{méd.}}$. Com relação à vazão média de projeto ($Q_{\text{médp.}}$) tem-se valores de 1,95 para $Q_{\text{máx.}}/Q_{\text{médp.}}$ e 0,6 para $Q_{\text{mín.}}/Q_{\text{médp.}}$. Ainda é possível notar pela Fig. 6, que cerca da metade do volume diário de esgoto ($324 \text{ m}^3.\text{d}^{-1}$), chega a estação elevatória no período entre 7 e 16 horas, aproximadamente, ou seja, durante 9 horas. A outra metade do volume entra durante as 15 horas restantes do dia.

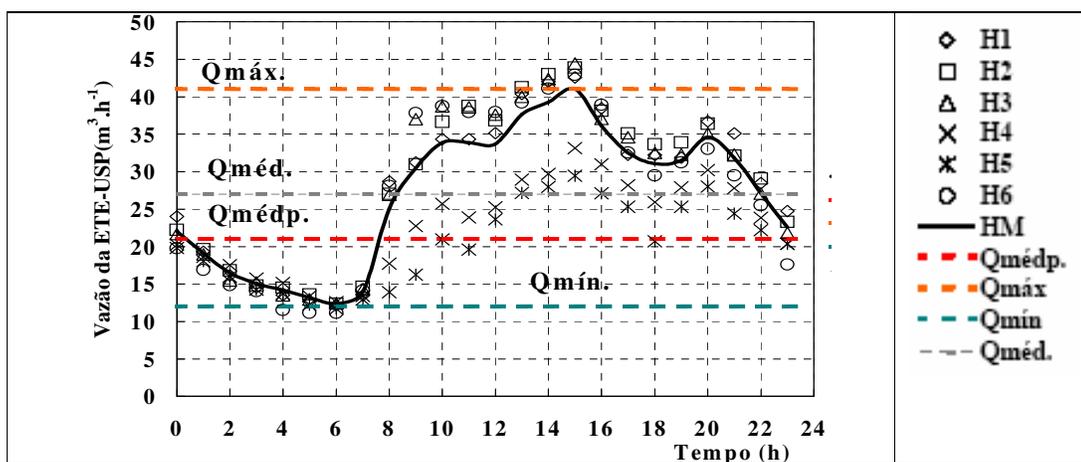
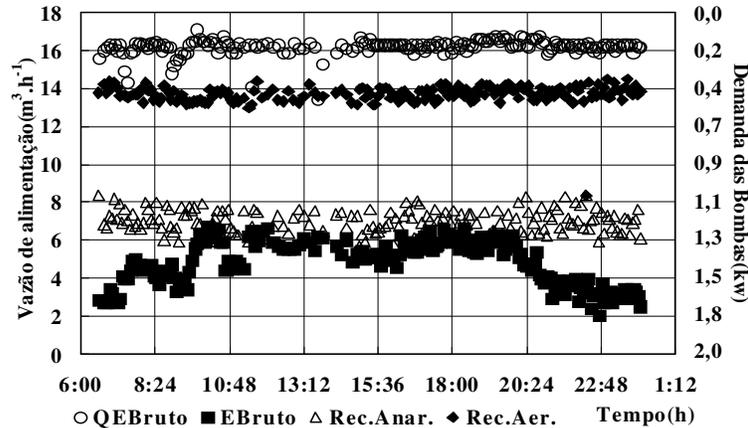


Figura 6. Hidrograma (Box-plot) da ETE da USP (São Carlos)



Legenda: **QEBruto**: vazão de esgoto bruto; **EBruto**: demanda bomba de esgoto bruto; **Rec. Anar.**: demanda bomba de recirculação zona anaeróbia e **Rec. Aer.**: demanda bomba de recirculação zona aeróbia).

Figura 7. Variação temporal da vazão e demanda das bombas B1, B2 e B3 do RANALEX.

Com relação à Fig. 7, aplicou-se aos dados de vazão de alimentação (B1) do reator o teste de hipótese com distribuição Z, para verificar se a média dessa variável contínua é igual a um valor pré-fixado ($16 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$), considerando que a população tenha média μ . As hipóteses do teste são: $H_0: \mu = 16 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (hipótese nula) e $H_1: \mu \neq 16 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (hipótese alternativa). Os resultados do teste Z foram: $n=186$; média= $16,21$; $\sigma=0,42$, coeficiente de variação= $2,6\%$ e $p=0,000$. De acordo com esses resultados a vazão média aplicada ao RANALEX, se mantém “aproximadamente constante” no valor estabelecido para operação dessa unidade de tratamento. Nota-se também que as potências dos conjuntos moto-bombas B1, B2 e B3, tiveram os seguintes valores médios de $1,45 \pm 0,12 \text{ kw}$, $1,23 \pm 0,07 \text{ kw}$ e $0,48 \pm 0,06 \text{ kw}$, respectivamente. Tais valores indicam demanda média em torno de $47,4 \text{ kwh}$.

O reator RANALEX operado sob condição anaeróbia-aeróbia com carga orgânica volumétrica aplicada (média) de $4,0 \text{ kgDQO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, apresentou eficiências de remoção de 83% para a DBO, 79% para DQO e de 76% para a SST. Esses valores de eficiência ocasionaram no efluente do RANALEX, as concentrações de $98 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $188 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e de $52 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ em termos de DBO, DQO e SST, respectivamente. Com relação ao material nitrogenado o RANALEX sob carga nitrogenada volumétrica aplicada (média) de $0,19 \text{ kgNTK} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ atingiu 30% de eficiência de remoção com relação a essa variável. A eficiência de remoção em termos de DBO, DQO, SST e NTK e algumas variáveis do efluente do RANALEX são mostradas após os perfis na Fig. 8 e durante perfil temporal (24 horas) em termos de pH e potencial redox nas Fig. 9 e 10.

Na Tab. 2 pode-se visualizar os valores mínimos e máximos das variáveis analisadas no afluente (esgoto sanitário) e no efluente do reator de leito expandido nos perfis temporais. Com relação ao efluente tratado gerado pelo RANALEX visualizam-se nos dados da Tab. 2, que o efluente do reator teve relação de N-amoniacoal/NTK igual a 72% . Em termos de concentração de nitrogênio amoniacoal e orgânico, o efluente apresentou valores de 35 a $41 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ e de 5 a $13 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, respectivamente.

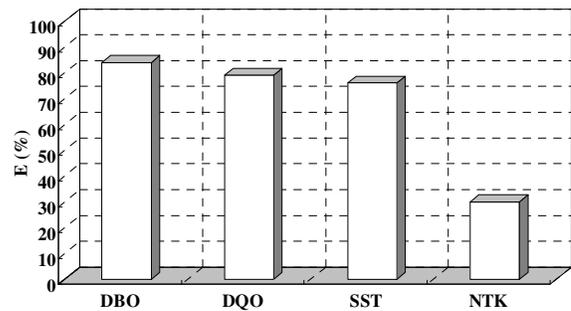


Figura 8. Eficiência média de remoção de DBO, DQO, SST e NTK do RANALEX.

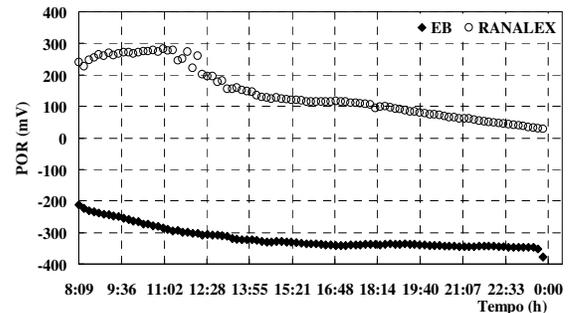


Figura 9. Variação temporal do pH do esgoto bruto e RANALEX

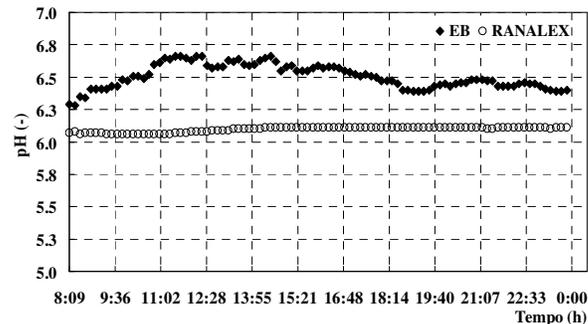


Figura 10. Variação temporal do POR do esgoto bruto e RANALEX (12/10/2005).

Tabela 2. Valores mínimos e máximos obtidos no RANALEX (afluente e efluente).

Variável	Unidade	Afluente	Efluente
Temperatura	(°C)	19 – 24	20 – 22
pH	-	6,7 – 7,7	6,6 – 7,0
Condutividade	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	606 – 1981	189 – 144
POR	mV	-45 – -53	-28 – -281
OD	$(\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1})$	0,1 – 1,4	0,05 – 0,1
AT	$(\text{mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1})$	104 – 187	144 – 189
AV	$(\text{mgHac}\cdot\text{L}^{-1})$	22 – 59	19 – 66
DBO _{5,20}	$(\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1})$	544 ⁽¹⁾	92 ⁽¹⁾
DQO _T	$(\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1})$	171 – 1118	184 – 286
DQO _F	$(\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1})$	47 – 529	132 – 207
SST	$(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	99 – 544	31 – 41
NTK	$(\text{mgN}\cdot\text{NH}_3\cdot\text{L}^{-1})$	25 – 58	40 – 53
N-amoniaco	$(\text{mgN}\cdot\text{NH}_3\cdot\text{L}^{-1})$	18 – 45	35 – 41
N-orgânico	$(\text{mgN}\cdot\text{NH}_3\cdot\text{L}^{-1})$	4 – 25	5 – 13
Fosfato	$(\text{mgPO}_4^{3-}\cdot\text{L}^{-1})$	6 – 19	15 – 17

Legenda: (1) Amostra composta

4. Conclusões

O reator RANALEX tem sido operado satisfatoriamente por 4 anos e o sistema de automação implementado apresentou-se de forma bem adequada ao propósito requerido. Portanto, a necessidade de sistemas de controle de processo sofisticados para plantas de tratamento de esgoto pode ser considerada viável.

A economia de energia elétrica é fator de considerável importância, tendo em vista, o fato das bombas e dispositivos trabalharem em regime otimizado. Essa afirmação não se baseia em estudos comparativos entre sistemas automatizados e não automatizados. Porém, torna-se óbvia a redução de consumo de energia se imaginarmos os motores atuando com menor rotação e, portanto, com menor dissipação térmica (menor atrito mecânico), o que proporciona menores gastos com manutenção das máquinas e pessoal operacional.

Para efeito comparativo de desempenho, não existem reatores com essa configuração implantada, em mesma escala, no tratamento de esgoto sanitário. Nesta unidade experimental (RANALEX), a eficiência de remoção apresentada durante o período experimental foi de 83% para a DBO, 79% para DQO e de 76% para SST.

No caso da ETE-USP, variáveis como: vazões de recirculação (zona aeróbia e anaeróbia) e vazão de esgotos tratados foram analisados e alterados buscando a melhor condição que se caracteriza pela relação: volume tratado/qualidade do efluente, sendo essa, mais uma vantagem de sistemas automatizados: viabilizar a realização de estudos cujos resultados permitem aproximar-se do ponto de melhor desempenho de sistema por meio da variação de parâmetros de controle que influenciam diretamente o resultado final do processo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FINEP-CNPq pelo auxílio financeiro ao Projeto de Núcleos de Excelência (PRONEX-76.97.1012.00), à FAPESP (Processo nº: 03/04813-4) e a CAPES pelas bolsas de pesquisa concedidas aos autores desse trabalho, e ao Programa Pós-graduação de Hidráulica e Saneamento da EESC- USP.

AUTOMATION OF AN EXPANDED BED REACTOR IN FULL SCALE WITH OVERLAID ANAEROBIC AND AEROBIC ZONES FOR DOMESTIC SEWAGE TREATMENT -

The objective of this work has to present the control architecture developed for automation of the bed reactor expanded in full scale (159 m³), considering the flexibility of the system under different operation conditions: anaerobic and aerobic separated or anaerobic-aerobic combined. The expanded bed reactor is component of the domestic sewage treatment plant in the *campus* of the São Paulo State University (São Carlos/SP/Brazil). The automation system still includes pump station and reservoir tank (30 m³). This application is based on the use of Programmable Logical Controllers (PLC) which are electronic equipments used for control systems. Typical results of monitoring operational (physical-chemical analysis) were included to demonstrate the feasible of this reactor configuration in the domestic sewage treatment.

Referências

[1] APHA, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th ed.. American Public Health Association. Washington, DC, 1998.

[2] ARAÚJO, J.C. *Caracterização e evolução do biofilme em reator anaeróbio de leito fluidificado alimentado com esgoto sanitário sintético*. Dissertação, EESC/USP, São Carlos, 1995.



[3] CAMPOS, J. R. *Remoção de DQO e de nitrogênio em um sistema de três reatores biológicos de filme fixo em série*. Livre Docência, EESC/USP, São Carlos, 1989.

[4] DILALLO, R.; ALBERTSON, O.E. *Journal WPCF*, 33, 356-365 p, 1961

[5] FILHO, M.. *Revista Controle & Instrumentação*, São Paulo, 61, 2004.

[6] MENDONÇA, N. M. *Tratamento de esgoto sanitário empregando reator de leito expandido em escala plena com zonas anaeróbia e aeróbia sobrepostas: Concepção, construção e operação*. Tese, EESC/USP, São Carlos, 2004.

[7] MENDONÇA, N. M. *Caracterização do material suporte e estudo da partida de um reator anaeróbio de leito expandido utilizado no tratamento de esgoto sanitário*. Dissertação, EESC/USP, São Carlos, 1999.

[8] MENDONÇA, N. M.; NICIURA, C. L.; GIANOTTI, E. P.; CAMPOS, J. R. *Wat. Sci. Tech*, 49, 319-325p, 2004.

[9] MOREIRA, M. A. *Revista Controle & Instrumentação*, São Paulo, 69, 2002.

[10] PEREIRA, J. A. R.; CAMPOS, J. R. *Tratamento de Esgotos Sanitários por Processos Anaeróbios e Disposição Controlada no Solo*. ABES, 199-219p, 2000.

[11] RIPLEY, L.E.; BOYLE, W.C.; CONVERSE, J.C. *Journal WPCF*, 58, 406-411p, 1986

[12] SARTI, A.; LAMON, A. W.; SILVEIRA, P. E.; ZAIAT, M.; FORESTI, E. *Emprego de automação na operação de reatores anaeróbios em batelada utilizados no tratamento de esgoto sanitário*. Anais: XXII Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental Sanitária e Ambiental, 2003.

[13] SILVA, E. L.; CAMPOS, J. R. *Phenol biodegradation in a three phase biofilm fluidized bed reactor*. In: International Symposium on Technology. Salvador - BA, 121-128p, 1995.

[14] SILVEIRA, P. R., SANTOS, W. E. *Automação e controle discreto*. Érica, 1998.

[15] THEREZO, P. E. A., 1993. *Avaliação do desempenho de um reator anaeróbio de leito expandido operado sob condições instáveis de carregamento orgânico e hidráulico*. Dissertação, EESC/USP, São Carlos, 1993.