

II-384 - ANÁLISE DA DEMANDA DE OXIGÊNIO EM PROCESSO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE LODO ATIVADO

Miriam Patrícia Loureiro⁽¹⁾

Engenheira Química pela Faculdade do Centro Leste (2011). Química Industrial pela Universidade Vale do Rio Doce - UNIVALE/MG (1999). Suporte de Operação da Companhia Espírito Santense de Saneamento - CESAN.

Lorena Alves Bahia Figueiredo

Engenheira Química pela Faculdade do Centro Leste (2011). Analista de Produto-FORTLEV

Dalton Luiz da Cunha Ramaldes

Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal do Espírito Santo. Mestre em Engenharia Ambiental (UFES). Gerente de Coleta e Tratamento de Esgoto da Companhia Espírito Santense de Saneamento - CESAN.

Endereço ⁽¹⁾: Av. Gelú Vervloet dos Santos - 395 - Aeroporto - Vitória - ES - CEP: 29075-660 - Brasil - Tel: +55 (27) 2127-6759 - Fax: +55 (27) 2127-6772 e-mail: patricia.loureiro@cesan.com.br

RESUMO

O presente estudo teve por objetivo analisar a demanda de oxigênio, a partir do cálculo dos Requisitos de Oxigênio (RO), necessária às reações de oxidação da matéria orgânica carbonácea e nitrogenada no processo de tratamento de esgoto doméstico originado de residências, de instituições e comércio, em duas estações de tratamento de esgoto por lodos ativados, operadas e monitoradas pela Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN) possibilitando um ajuste operacional para redução do consumo de energia elétrica e custos relacionados a esse processo, sem afetar a eficiência do tratamento do esgoto. O estudo foi baseado em dados e informações das duas ETE's e por bibliografias referentes a esgoto e tratamento de esgoto.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto, Lodos Ativados, Demanda de Oxigênio, Energia.

INTRODUÇÃO

Os esgotos domésticos englobam usualmente os esgotos de domicílios, bem como de atividades comerciais e institucionais. Apesar de variarem em função dos costumes e condições socioeconômicas das populações, os esgotos domésticos têm características bem definidas (BRAGA et al, 2006). Eles contêm 99,9% de água e o restante de sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. Portanto, é devido a essa fração de 0,1% que há necessidade de se tratar os esgotos (SPERLING VON, 2005).

Desta forma a disposição adequada dos esgotos é essencial para proteção da saúde pública. Pois, muitas infecções podem ser transmitidas de uma pessoa doente para outra sadia por diferentes caminhos, envolvendo as excreções humanas. E, os esgotos sem tratamento podem contaminar a água, os alimentos, os utensílios domésticos, as mãos, o solo, ou serem transportados por vetores, como moscas e baratas, provocando novas infecções (BRAGA et al, 2006).

Ao se definir um processo deve-se considerar sua eficiência na remoção de DBO e coliformes, a disponibilidade de área para sua instalação, os custos operacionais, especialmente energia elétrica, e a quantidade de lodo gerado. Alguns processos, contudo exige maior escala (maior população atendida) para apresentarem custos per capita compatíveis. Na implantação de um sistema de esgotamento sanitário, compreendendo também a rede coletora, a estação de tratamento representa cerca de 20% do custo total (BORSOI et al, 1997 apud CANUTO et al, 2008).

Um dos fatores que eleva o custo de operação é o uso intensivo de equipamentos, com conseqüente aumento nas despesas de energia elétrica. O custo da energia e sua escassez em várias regiões do mundo também têm motivado pesquisas para a criação de soluções com menor demanda energética (BORSOI et al, 1997 apud CANUTO et al, 2008, p. 2). E a eficiência no tratamento do esgoto, fator importante na implantação do sistema de tratamento seja qual for sua natureza, depende do método empregado na elaboração e execução do projeto da Estação de Tratamento de Esgoto (OLIVEIRA; SPERLING VON, 2005).

As Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) de Mulemba e Manguinhos pertencentes à Cia Espírito Santense de Saneamento – CESAN, empresa que atua no setor concessionário de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto em 52 municípios do Espírito Santo. São objetos de estudo deste trabalho e possuem equipamentos de uso intensivo que compõem seus sistemas de aeração por difusores e aeradores por aspiração, respectivamente.

O controle da concentração do consumo do oxigênio nessas duas estações de tratamento é fundamental para a Companhia Espírito Santense de Saneamento (CESAN), pois altos gastos de energia de uma estação de tratamento por lodo ativado estão relacionados com o consumo de energia pelos sistemas de aeração, gerando um alto custo operacional.

Segundo Sperling Von (2005) a taxa de transferência de oxigênio dos difusores pode ser acomodada para se ajustar às variações da demanda através do controle dos sopradores e dos sistemas de distribuição de ar, permitindo desta forma, uma economia de energia.

MATERIAIS E MÉTODOS

As informações utilizadas foram obtidas do acervo técnico da CESAN e são dados históricos das ETEs Mulemba e Manguinhos no período de 2009 a 2011. Todas as informações operacionais e resultados de análises laboratoriais foram planilhados para melhor utilização. Estas análises são feitas por laboratório terceirizado, pertencente à empresa operadora e gerenciadas pela CESAN.

As estações de tratamento de esgoto selecionadas são denominadas ETE MULEMBA (Figura 01), com coordenada UTM 362.200 e 7.756.400 e geográfica $-20^{\circ} 17' 8.18''$, $-40^{\circ} 19' 12.60''$, tem acesso pela Av. Serafim Derenze, Bairro Joana D'arc no Vale Mulembá na cidade de Vitória/ES e a ETE MANGUINHOS (Figura 02), coordenada UTM 395.386 e 7.788.178 e geográfica $-20^{\circ} 12' 37.38''$, $-40^{\circ} 13' 9.39''$ está situada na Av. Meridional, em frente à entrada do setor Oceania, bairro Cidade Continental na cidade de Serra/ES.

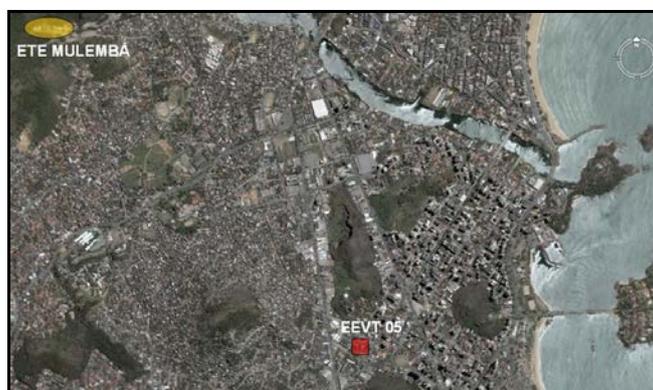


Figura 01: Foto aérea da ETE Mulemba. Fonte: Google Earth

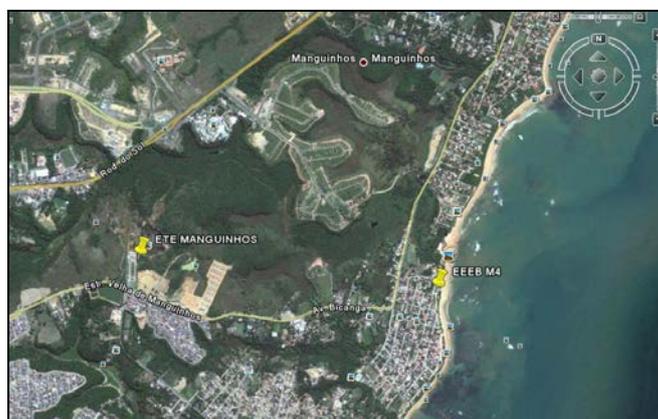


Figura 02: Foto aérea da ETE Manguinhos. Fonte: Google Earth

A ETE MULEMBA (Figura 03) foi construída para atender uma vazão média de 17.616 m³/dia de esgoto doméstico, o que corresponde a uma população de 74.791 habitantes.



Figura 03: Foto aérea da ETE Mulembá/ duplicação.
Fonte: <http://www.saneamentoes.com.br/site/?target=vitoria>

No pré-tratamento da ETE MULEMBA o esgoto bruto bombeado passa por grade grossa manual, grade fina curva rotativa, caixa de areia, do tipo quadrada (detritor). Através de vertedores em fibra o efluente desarenado é descarregado num canal para ser conduzido ao tratamento biológico por lodo ativado cíclico, tipo UNITANK.

A ETE MANGUINHOS (Figura 04) foi construída para atender uma vazão média de 9573 m³/dia de esgoto doméstico, o que corresponde a uma população de 66.035 habitantes.



Figura04: Foto aérea da ETE Manguinhos. Fonte: CESAN.

No pré-tratamento da ETE MANGUINHOS o esgoto bruto bombeado passa pelas seguintes unidades: gradeamento, peneira rotativa, desarenador tipo vortex, removedor de gordura. Após o pré-tratamento o esgoto segue para o tanque de aeração e decantador secundário onde ocorre a recirculação do lodo decantado ao tanque de aeração, e o efluente tratado e clarificado segue para o medidor de vazão e posteriormente disposto no corpo receptor.

Em ambas as estações o processo de tratamento de esgoto é físico e biológico, composto de pré-tratamento, reator biológico aerado e tanque de decantação. Sendo os sistemas de aeração distintos, a ETE Manguinhos possui aerador tipo Tornado com aspiração de ar atmosférico (figura 05), onde o fluxo de água bombeada gera uma zona de baixa pressão através de um sistema Venturi, que aspira o ar atmosférico da superfície através de uma mangueira e o incorpora no fluido bombeado. Esses aeradores são considerados por alguns autores como aeradores mecânicos, por terem motores rodando fora do líquido, e por outros autores como aeradores por ar difuso por gerarem bolhas de ar no líquido (adaptado de SPERLING VON, 2002, p. 131). A ETE Mulemba possui sistema de aeração por Difusores (figura 06). O período de estudo utilizado para este trabalho foi de 2009 a 2011.



Figura05: Vista geral da ETE Manguinhos(Google Earth) e detalhe dos aeradores no tanque de aeração.

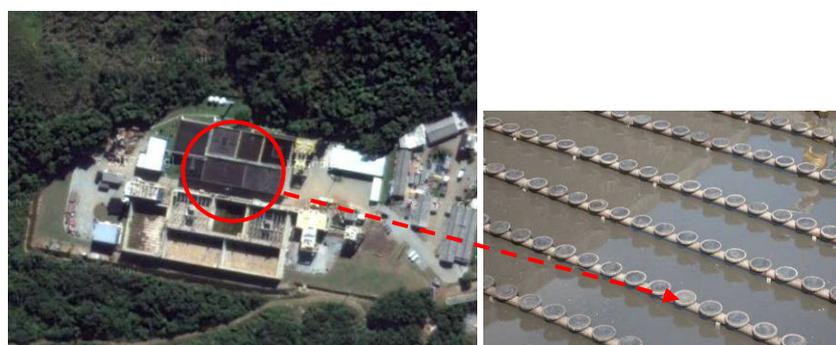


Figura 06: Vista geral da ETE Mulemba(Google Earth) e detalhe dos difusores nos tanques de aeração.

A ETE MANGUINHOS diferentemente da ETE MULEMBA remove o lodo excedente diretamente do tanque de aeração, processo denominado controle hidráulico segundo Sperling Von (2002). A ETE possui sistema de tratamento deste lodo excedente, que contém as seguintes unidades: floculador, flutador e centrífuga.

Os requisitos de oxigênio(RO) necessários às demandas de oxidação da matéria orgânica carbonácea, foram calculados com base no método da demanda carbonácea total e remoção de lodo excedente, e no método equivalente da demanda para síntese e para a respiração endógena, levando em conta também a demanda para nitrificação, baseada em relações estequiométricas com amônia oxidada, considerando: vazão média diária de operação, $DBO_{5/20^{\circ}C}$ (Demanda Bioquímica de Oxigênio) afluente (S_o) e efluente (S) de cada estação de tratamento, Sólidos Suspensos Voláteis do tanque de aeração (SSVT) ou concentração da biomassa no tanque de aeração (X_v), coeficiente de síntese celular(Y), coeficiente de respiração endógena (K_d) de operação de cada estação no período outubro de 2009 a outubro de 2011.

Os resultados das análises químicas do parâmetro $DBO_{5/20^{\circ}C}$ utilizados nos cálculos, realizadas semanalmente, foram ajustadas para médias geométricas mensais no período acima citado. Os métodos analíticos dos parâmetros analisados em laboratório pela CESAN e empregados na base de cálculos do RO seguem os padrões preconizados no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al, 2005).

As médias geométricas e gráficos foram elaborados no Programa Excel da Microsoft. As médias geométricas foram adotadas para variáveis cujos valores variam segundo diversas ordens de magnitude, sendo mais conveniente que a média aritmética e recomendada por SPERLING VON (2005). Os dados de projeto e operacionais foram obtidos do acervo da CESAN.

Foram utilizadas as equações 1, 2, 3 e 4, citadas abaixo, no cálculo do RO e comparados os resultados com as estimativas dos cálculos de projeto de cada ETE.

Para análise e comparação foi calculado o requisito de oxigênio para a demanda carbonácea de cada ETE, que deveria ser igual ao consumo de oxigênio pela DBO_{última} (DBO_u) removida por cada sistema de tratamento. Esta demanda corresponde à demanda total para a oxidação do substrato e para a respiração endógena da biomassa.

A DBO última, é igual à DBO_{solúvel} (DBO_s) multiplicada por um fator de conversão que se situa em torno de 1,2 a 1,6. Um valor usualmente adotado é o de DBO_u/DBO_s é igual a 1,46, segundo Von Sperling (2002). Desta forma, a massa de oxigênio requerida por dia foi obtida em função da carga DBO_s removida:

$$RO \text{ (Kg/d)} = 1,46 \cdot Q \cdot (S_o - S) / 10^3 \quad \text{equação (1)}$$

Sendo:

RO: requisito de oxigênio (KgO₂/d)

Q: Vazão afluente (m³/d)

S_o: concentração de DBO_s afluente (DBO total) (g/cm³)

S: concentração de DBO_s efluente (DBO solúvel) (g/cm³)

1,46: fator de conversão (DBO_u/DBO_s)

10³: fator de conversão (g/Kg)

No sistema de lodos ativados, no entanto, parte da matéria orgânica afluente é convertida em novas células. Por essa razão, descontou-se a fração relativa ao consumo de oxigênio dessas células a qual não é realizada dentro do sistema.

Assim pode-se expandir a equação à:

$$RO \text{ (kg/d)} = \text{DBO}_u \text{ removida (Kg/d)} - 1,42 \cdot (\text{sólidos produzidos}) \text{ (Kg/d)} \quad \text{equação (2)}$$

O consumo de oxigênio para a estabilização da matéria orgânica carbonácea pode ser assim expresso através de (Metcalf & Eddy, 1991):

$$RO \text{ (kg/d)} = 1,46 \cdot Q \cdot (S_o - S) - 1,42 P_{xv} \quad \text{equação (3)}$$

Sendo:

RO: Requisito de oxigênio (KgO₂/d).

Q: Vazão afluente (m³/d).

S_o: Concentração de DBO_s afluente (DBO total) (g/cm³).

S: Concentração de DBO_s efluente (DBO solúvel) (g/cm³).

P_{xv}: Sólidos suspensos voláteis formados.

Os cálculos de requisitos de oxigênio para oxidação da matéria orgânica foram realizados a partir dos resultados de parâmetros físico-químicos de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), vazão, sólidos do tanque de aeração e nitrogênio das ETE's, de acordo com a equação abaixo:

$$RO \text{ (kg/d)} = a' \cdot Q \cdot (S_o - S) + b' \cdot X_v \cdot V \quad \text{equação (4)}$$

a': 1,46 - 1,42Y

b': 1,42.fb.kd

Sendo:

S_o = concentração da DBO total afluente (mg/L)

S = concentração de DBO solúvel efluente (mg/L)

Q = vazão afluente (m³/d)

X_v = concentração de sólidos em suspensão voláteis afluente à lagoa aerada (mg/L).

V = volume total das lagoas (m³)

a': fração da matéria removida que é usada para energia (adimensional)

b': Quantidade de oxigênio utilizado por dia (kg)

A conversão da amônia a nitrato acontece em duas fases subseqüentes, que corresponde à nitrificação, e ocorre simultaneamente com a oxidação da DBO, necessita de uma quantidade de oxigênio adicional de oxigênio para acontecer. E esse adicional deve ser computado nos requisitos de totais de oxigênio. Desta forma sabe-se que estequiometricamente, 1 g NTK requer 4,57g de O₂ para conversão a NO₃⁻.

Assim:

$$RO(\text{kg/d})=4,57.Q.NTK/10^3 \quad \text{equação (5)}$$

Sendo:

Q = vazão afluyente (m³/d)

NTK=nitrogênio total Kjeldahl (nitrogênio orgânico mais o nitrogênio amoniacal) (mgN/l)

RESULTADOS e DISCUSSÕES

A Tabela 1 mostra os valores do Requisito de Oxigênio- RO(kgO₂/d) e a relação requisito de oxigênio por Demanda Bioquímica de Oxigênio removida- RO/DBOr(kgO₂/kgDBOr) das ETEs Mulemba e Manguinhos calculados mensalmente no período de outubro de 2009 a setembro de 2010 e outubro de 2010 a setembro de 2011.

Tabela 1: Cálculo de RO necessário para atender às demandas carbonácea e de nitrificação mensais das ETEs Mulemba e Manguinhos bem como a relação RO/DBOr

mês/ano	ETE			
	Mulemba		Manguinhos	
	RO(kgO ₂ /d)	RO/DBOr(kgO ₂ /kgDBOr)	RO(kgO ₂ /d)	RO/DBOr(kgO ₂ /kgDBOr)
out/09	4447	2,71	981	2,98
nov/09	3669	3,71	447	2,31
dez/09	5640	2,02	522	3,05
jan/10	3413	2,68	855	2,99
fev/10	3694	3,44	1767	2,49
mar/10	4928	4,09	1356	5,14
abr/10	2350	3,25	1519	4,26
mai/10	3656	2,97	1653	3,25
jun/10	4973	3,02	1694	2,86
jul/10	5063	2,98	980	2,39
ago/10	4229	2,27	1098	2,37
set/10	4111	2,63	1162	2,77
Média Geométrica	4084	2,93	1079	2,98
out/10	4840	1,50	739	3,01
nov/10	4707	1,90	870	2,66
dez/10	4737	1,52	1486	3,02
jan/11	4262	3,10	491	3,92
fev/11	4634	2,34	765	2,45
mar/11	4634	2,34	1536	2,55
abr/11	3429	2,34	942	2,09
mai/11	3429	2,34	668	2,40
jun/11	4376	2,30	991	2,14
jul/11	4230	2,29	1006	2,37
ago/11	6003	2,17	1165	2,24
set/11	3377	2,44	1042	2,22
Média Geométrica	4331	2,17	930	2,55

Fonte: Acervo Cesan

A partir da tabela 1 observa-se que os valores encontrados para o RO da ETE Mulemba foram maiores em relação aos da ETE Manguinhos (Figura 7), o que pode ser explicado e evidenciado pelo porte da ETE

Mulemba, tendo em vista que a mesma possui em média uma vazão de operação 80% e uma carga orgânica afluyente 70% mensais superior às da ETE Manguinhos.



Figura 7: Comparação entre os requisitos de oxigênio calculados das ETEs Manguinhos e Mulemba, para atender às demandas carbonáceas e de nitrificação no período de 2009 a 2011.

É importante ressaltar uma maior estabilidade do processo de tratamento para ETE Mulemba, pois sua operação foi iniciada em 2003, seis anos antes ao início de operação da ETE Manguinhos, possibilitando assim maior adesão à rede e sistema de coleta de esgoto da CESAN e conseqüentemente maior contribuição de esgoto à esta estação.

Na figura 8 os resultados obtidos e apresentados de RO(kgO₂/DBOr(kg rem)) foram calculados em relação às condições estacionárias médias de operação. Pois, durante os horários de pico, a vazão afluyente máxima normalmente coincide com a concentração de DBO₅ afluyente máxima. No entanto, o pico de consumo de oxigênio não coincide necessariamente com o pico de carga de DBO₅, estando amortecido e defasado em algumas horas. Uma vez que a DBO solúvel é imediatamente assimilada, e a DBO em suspensão requer um certo tempo para ser hidrolisada (sem consumo de oxigênio) e posteriormente assimilada (adaptado SPERLING VON 2002).

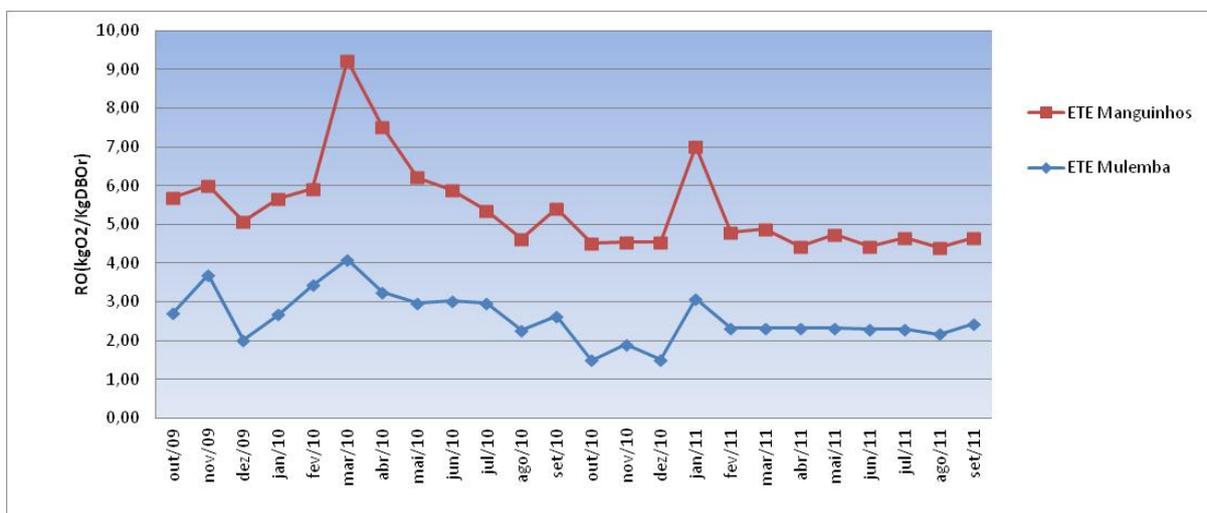


Figura 8: Comparação a relação RO(kgO₂/DBOr(kg rem)) das Manguinhos e Mulemba, para atender às demandas carbonáceas e de nitrificação no período de 2009 a 2011.

É possível observar também, o valor superior da relação RO/DBOr para ETE Manguinhos, uma vez que a carga orgânica removida (kg DBOr) pelo processo de tratamento da ETE ser baixa e ser um fator diretamente ligado à demanda de oxigênio. A carga orgânica afluyente (kg DBO afluyente) à ETE também é baixa, em relação à capacidade da ETE por estar em processo de adesão à rede de coleta e tratamento de esgoto.

Com base nos dados utilizados para a realização do trabalho:

- A Estação de Tratamento de Esgotos Mulembá apresentou valores médios anuais de: vazão afluente de esgoto de 11486m³/d e carga orgânica removida de 1600kgDBOr/d (2009); vazão afluente de esgoto de 11378m³/d e uma carga orgânica removida de 1608 kgDBO/d (2010) e vazão afluente de esgoto de 11341m³/d e uma carga orgânica removida de 1753 kgDBOr/d (até set/2011).

- A Estação de Tratamento de Esgotos Manguinhos apresentou valores médios anuais de: vazão afluente de 1670m³/d e uma carga orgânica removida de 227kgDBO/d (2009); vazão afluente de 2263m³/d e carga orgânica removida de 383kgDBOr/d (2010) e vazão afluente de esgoto de 2101m³/d e uma carga orgânica removida de 376kgDBOr/d (até set /2011).

Considerando-se os resultados obtidos de RO (tabela 3, gráficos 1 e 2), e os dados fornecidos de carga orgânica removida, os valores de encontrados de RO/DBOr variaram de 1,5 a 4,09kgO₂/d para ETE Mulemba e para ETE Manguinhos variaram de 2,09 a 5,14kgO₂/d.

Conforme tabela 02, utilizando valores aproximados de projeto, operacionais e bibliográficos, por exemplo: carga orgânica afluente 5288kgDBO/d e RO de 18000kgO₂/d para estação de Mulemba; carga orgânica afluente de 2877kgDBO/d e RO de 5000kgO₂/d para estação de Manguinhos, os valores de RO/DBOr encontrados foram de 3,78kgO₂/KgDBOr para ETE Mulemba e 1,93 kgO₂/kgDBOr para Manguinhos,.

A eficiência de remoção de carga orgânica utilizada foi de 90% para ambas as estações, representando valores de 4759 kgDBOr/d para Mulemba e 2589 kgDBOr/d para Manguinhos.

Tabela 02: Valores utilizados de carga orgânica afluente e removida, RO(kgO₂/d) para o cálculo de RO/DBOr (kg/kgDBOr)

PARÂMETRO	MULEMBA	MANGUINHOS
Carga Orgânica afluente (kgDBO/d)	5288	18000
RO (kgO ₂ /d)	2877	5000
RO/DBOr (kgO₂/KgDBOr)	3,78	1,93
Carga Orgânica removida (kgDBOr/d)*	4759	2589
* 90% eficiência de remoção		

Fonte: Acervo CESAN

CONCLUSÕES

Com os cálculos realizados a partir dos dados de vazão média mensal de operação; DBO_{5/20°C} (Demanda Bioquímica de Oxigênio) afluente e efluente; Sólidos Suspensos Voláteis do tanque de aeração (SSVTA) ou concentração da biomassa no tanque de aeração (Xv); coeficiente de síntese celular(Y) e coeficiente de respiração endógena (Kd) foi possível verificar as demandas para oxidação da matéria orgânica carbonácea e da nitrificação.

Uma vez que os valores encontrados de RO/DBOr para ETE Mulemba, se apresentaram hora acima hora abaixo do valor estimado de projeto, pode-se inferir, um possível ajuste de oxigênio fornecido pelo sistema de aeração, para atender às demandas de oxigênio para as reações que ocorrem no reator biológico.

Em relação à ETE Manguinhos os valores encontrados de RO/DBOr com dados operacionais ficaram acima do valor estimado no projeto, haveria necessidade de um ajuste do sistema de aeração para aumento da demanda de oxigênio para as reações que ocorrem no reator biológico.

Uma vez que os equipamentos de aeração podem representar a maior parcela de consumo de energia em uma estação de tratamento de esgoto, tipo lodo ativado, uma análise de campo com manobras operacionais que possibilitem redução de consumo, pode ser representativa e proporcionar uma redução do custo de energia.

Os resultados obtidos poderão auxiliar a operacionalidade das ETEs por meio do controle do sistema de aeração, favorecendo aos operadores e contribuir para orientar tomadas de decisões e o gerenciamento de custos de operação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRAGA, B. et al. Introdução à Engenharia Ambiental. 2ª Edição, São Paulo, 2006.
2. BARROS, A. M. et al, II-143 - Influência de um sistema coletor tipo unitário na eficiência de uma estação de tratamento de esgoto – In. X SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, MACEIÓ-AL, 2010.
3. CANUTO, S. L. et al, II-075- Avaliação da eficiência em termos de DBO de uma estação de tratamento de esgoto do tipo bioaerador de cascata – In. XIII SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Belém- PA, 2008.
4. FIGUEIREDO, L. A. B., LOUREIRO, M. P., Análise da Demanda de Oxigênio no Tratamento de Esgoto no Processo de Lodos Ativados, Serra-ES. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Engenheiro Químico. Faculdade Centro Leste - UCL, 2011.
5. JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda, Tratamento de Esgotos Domésticos, 5ª Edição, Rio de Janeiro, Ed. Synergia, 2009.
6. METCALF & EDDY. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. Metcalf & Eddy, Inc. 3. ed, 1991, 1334 pp.
7. OLIVEIRA, S. M. A. C; SPERLING, Marcos Von, Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1 - Análise de desempenho. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, p. 347-357, 2005.
8. SOARES, S. R. A. et al , II-012 – Perfil respirométrico de reator biológico em sistema de lodos ativados com remoção de nutrientes - In 21º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, João Pessoa-PB , 2001.
9. SPERLING, Marcos Von, Princípios do tratamento Biológico de Águas Residuárias, Lodos ativados, Volume 4, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2002.
10. SPERLING, Marcos Von, Princípios do tratamento Biológico de Águas Residuárias, Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, Volume 1, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.
11. SPERLING, Marcos Von, Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto vol.1, Minas Gerais: Imprensa Universitária, 1995.
12. SPERLING, Marcos Von, Lodos Ativados vol 4, Minas Gerais: Editora UFMG, 1997, pag. 260.
13. SEGHERS, Keppel, Treinamento na Operação do Sistema UNITNAK aeróbio com remoção de nitrogênio, Espírito Santo, 2007.