



**9934 - ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA NA
IMPLANTAÇÃO DE AERADORES SUPERFICIAIS PARA AMPLIAÇÃO DA
CAPACIDADE DE TRATAMENTO EM LAGOAS FACULTATIVAS**

Natália Tabareli Monzane Sousa⁽¹⁾

Engenheira civil pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita - UNESP (2012), com especialização em Saneamento e Meio Ambiente pela UNILINS (2017). Atualmente é mestranda no Programa de Pós-Graduação ProfÁgua - Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos pela FEIS UNESP e exerce o cargo de Engenheira Civil na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Sabesp desde 2012.

Gilberto José da Paz Júnior⁽²⁾

Engenheiro civil pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita - UNESP (2006), com Mestrado na área de Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais – UNESP (2009) e especialização em Gerenciamento de Projetos – Toledo 2012. Exerce o cargo de Engenheiro Civil na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo - Sabesp desde 2010 e atua como Docente na Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE.

Tsunao Matsumoto⁽³⁾

Graduado em Engenharia Civil pela Fundação Valeparaibana de Ensino (1979), Mestrado e Doutorado em Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo em 1987 e 1995, respectivamente. Livre-Docente pela Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho (UNESP) em 2008. Atualmente é Professor Adjunto da UNESP Campus de Ilha Solteira. Atua na área da Engenharia Sanitária e Ambiental, com ênfase em Técnicas Alternativas de Tratamentos de Águas e Águas Residuárias.

Endereço⁽¹⁾: Rua José Garrido, 149 apartamento nº 11 – Bairro Jardim Petrópolis – Presidente Prudente – São Paulo - CEP: 19060-300 – Brasil - Tel: +55 (18) 98146-5425 - e-mail: natalia.monzane@gmail.com.

RESUMO

Este trabalho resultou na avaliação da viabilidade técnico-econômica da ampliação da capacidade de tratamento em ETE (Estação de tratamento de esgotos) constituída de lagoas anaeróbias e facultativas através da implantação de aeração superficial, bem como a averiguação com base em literatura das vantagens com relação ao aumento da eficiência e controle de odor nestes sistemas. Verificou-se aumento da capacidade do sistema de 34,7 l/s para 46,7 l/s, ou seja, cerca de 35% com a implantação de 68 aeradores superficiais de baixa rotação, com potência de 1 cv cada. Para alcance desta ampliação foi estimado um investimento inicial na ordem de R\$ 370.000,00 para que a utilização desta tecnologia suprisse o aumento da capacidade de tratamento do sistema. Busca-se dessa forma contribuir na análise de viabilidade técnico-econômica para o uso desta alternativa em sistemas existentes que não atendam aos parâmetros da legislação, atentando ao propósito de encontrar medidas que garantam resultados rápidos frente a uma demanda adicional não contemplada nos projetos, de modo que assegure o cumprimento às Legislações ambientais para eficiência e lançamento em corpos receptores.

PALAVRAS-CHAVE: aeração, lagoas de estabilização, viabilidade técnico-econômica.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a difusão dos sistemas de tratamento de esgotos constituídos de lagoas de estabilização, aconteceu na década de 70, do século XX, tendo se firmado como processo de tratamento de esgoto, devido à simplicidade e eficiência do processo, ao baixo custo de construção e operação e às condições climáticas favoráveis (ANDRADE NETO, 1997).

Na Figura 1, a partir de dados obtidos junto ao IBGE, mostra que as lagoas facultativas lideram o ranking dos tipos de sistemas de tratamento de esgotos mais utilizados no Brasil, com 23% de todas as unidades existentes.

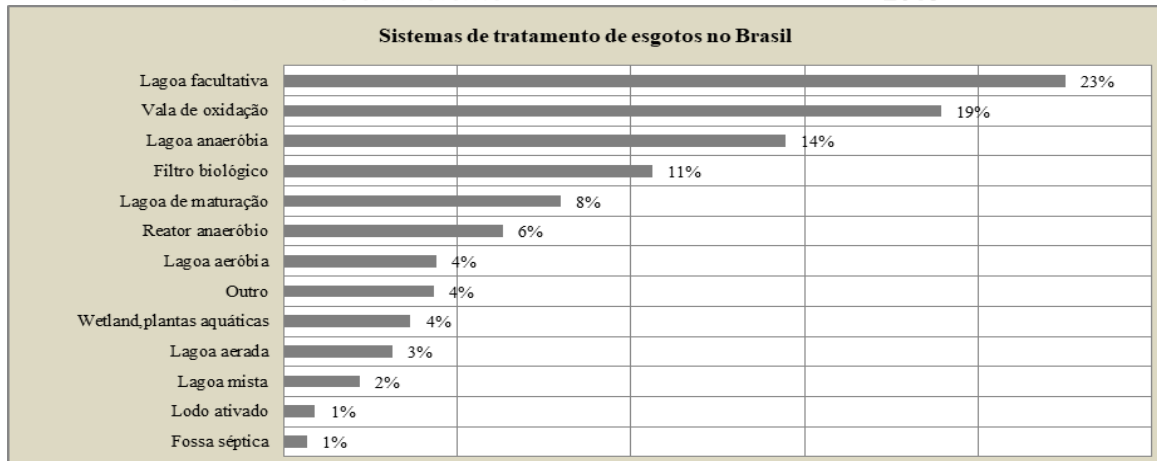


Figura 1: Sistemas de tratamento de esgotos no Brasil

Muitos dos sistemas implantados a partir da década de 1970 estão com a sua capacidade excedida e muitas vezes não atingem as eficiências esperadas. Como opção econômica, existe a alternativa de inserção de aeradores nos sistemas para suprir a demanda de ampliação da capacidade de tratamento dos efluentes a baixo custo e como solução para remediação a tempo curto.

A lagoa aerada facultativa é utilizada quando se deseja ter um sistema predominantemente aeróbio, e de dimensões mais reduzidas que as lagoas facultativas ou o sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas (VON SPERLING, 2002)

Uma eficiente oxigenação das lagoas aeradas mecanicamente é necessária para se garantir uma boa mistura e promover o ambiente aeróbico propício para o desenvolvimento dos micro-organismos responsáveis pela rápida degradação da matéria orgânica, além de manter um baixo consumo de energia. A injeção de ar nas estações aeróbias de tratamento passa a ser o maior item de consumo de energia em um sistema de tratamento, obrigando a busca por sistemas de aeração mais eficientes (FRINHANI; MOREIRA, 2014).

Devido à necessidade na ampliação de tais sistemas de tratamento de esgoto sanitário para atender às exigências para lançamento de efluentes em corpos d'água, verificou-se a necessidade em estudos e diretrizes que verifiquem a viabilidade econômica da escolha desta alternativa para lagoas facultativas convencionais sobrecarregadas, e sem área para expansão de forma a serem convertidas em lagoas anaeróbias e lagoas aeradas facultativas, como subsídio à tomada de decisões de técnicos da área.

Do mesmo modo, é fundamental conferir sobre os benefícios e problemas decorrentes dessa ação. Com mais estudos comprovando a viabilidade econômica deste tipo de alternativa, mais comunidades de pequeno e médio porte poderão se beneficiar com a melhoria da qualidade de seus efluentes lançados aos corpos receptores. Além de garantir o atendimento à Legislação ambiental, poderão trazer uma melhora significativa da qualidade dos recursos hídricos onde são lançados estes efluentes.

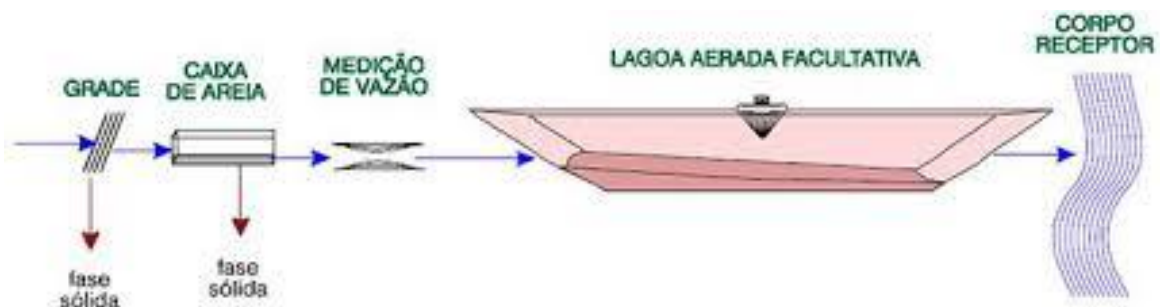


Figura 2: Lagoa aerada facultativa

Os aeradores mecânicos superficiais têm seu uso difundido há muito tempo pelo mundo, porém a partir da década de 60 passou a existir mais pesquisas sobre estes equipamentos. As características de maior



relevância para o usuário é a Eficiência de Aeração, que indica a capacidade de transferência do oxigênio pelo aerador, por unidade de tempo e potência líquida. A partir desse parâmetro é verificada a necessidade de oxigênio do sistema e sua operação econômica (KAMYAMA, 1987).

Pohlmann et al. (2009) fizeram estudos em escala real comprovando a melhoria da qualidade do efluente final fazendo uso de aeradores tipo Cachoeira em lagoas facultativas sobrecarregadas com o uso de equipamentos de ação superficial. Neste estudo, foi comparado a eficiência de uma lagoa facultativa sem aeração mecânica e com aeração mecânica durante um período de 30 dias de operação e observaram que os resultados obtidos chegaram a superar 93% na redução de demanda bioquímica de oxigenação (DBO) atingindo valores absolutos de 40 mg/L, enquadrando o efluente final dentro dos limites estabelecidos na legislação ambiental do Estado de São Paulo.

De acordo com informações do fabricante, o Aerador Cachoeira é constituído por um rotor horizontal tipo escova montado em flutuadores capaz de produzir intensa correnteza e atingir elevadas taxas de incorporação de oxigênio. Este tipo de tecnologia é considerado ideal para lagoas de estabilização, podendo também ser utilizado em valos de oxidação. Estes dispositivos estão disponíveis nos modelos 16x3 (1CV), 16x6 (5,5CV) e 32X6 (11CV). Os Aeradores Cachoeira se destacam pelo baixo consumo de energia, além de serem robustos, são fáceis de instalar e com manutenção simples. Podem ser utilizados tanto no tratamento de esgotos sanitários como de efluentes industriais. Na Tabela 1, além das vantagens, são elencadas algumas desvantagens, tais como o aumento na taxa de acumulação do lodo e gasto com energia elétrica. Essas questões devem ser levadas em conta no processo de decisão pelo uso desta alternativa no sistema.

Tabela 1: Vantagens e desvantagens na utilização de aeradores em lagoas de estabilização

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Facilidade manuseio e na manutenção devido ao peso mais leve	Maior taxa de acúmulo de lodo
Eliminação de odores	Necessidade de manutenção dos equipamentos
Maior eficiência energética em relação aos aeradores de alta rotação	Necessidade de manutenção dos equipamentos
Distribuição de oxigênio dissolvido por toda a superfície	Uso de energia elétrica
Aumento da eficiência	Formação de aerossóis
Eliminação de “Zonas Mortas”, distribuindo oxigênio dissolvido por toda a superfície	
Menor concentração de sólidos biológicos no efluente decorrente da baixa densidade de potência	



Segundo Arceivala (1981), citado por Von Sperling (2002), “A taxa de acúmulo média de lodo em lagoas facultativas é da ordem de apenas 0,03 a 0,08 m³/hab.ano”. Em lagoas aeradas, a taxa de acúmulo de lodo é mais rápida conforme Tabela 1, portanto, se faz importante a inclusão de desarenação a montante de lagoas aeradas (VON SPERLING, 2002).

MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo do estudo em pauta foi verificar a viabilidade técnica econômica na ampliação de sistemas existentes constituídos de lagoas de estabilização, através da implantação de aeradores superficiais de baixa rotação nas lagoas facultativas, especificamente o Aerador Cachoeira.

Para fim de análise, será considerado um sistema do tipo australiano composto por duas lagoas anaeróbias seguidas por duas lagoas facultativas, devido a ser o sistema mais comum encontrado para atender comunidades de pequeno e médio porte, com as dimensões definidas na Tabela 2. Verificou-se então, em quanto poderá ser aumentada a capacidade do sistema com a implantação dos aeradores, passando a ser considerado como lagoa facultativa aerada.

Será adotado um sistema a ser dimensionado para atender à uma demanda conforme os seguintes dados:

População = 20.000 habitantes

Vazão afluyente: Q=3.000 m³/d

DBO afluyente: S₀=350 mg/l

Temperatura: T=23°C (líquido no mês mais frio)

O método de dimensionamento utilizado é de acordo com o proposto por Von Sperling, 2002, para lagoas facultativas, lagoas anaeróbias em série com lagoas facultativas e lagoas aeradas facultativas.

Aerador adotado

Foi adotado o modelo de aeração superficial de rotores tipo escova de 1 CV em ambas as lagoas facultativas para melhor distribuição da potência instalada. Os equipamentos foram adequadamente distribuídos em linhas de aeração para evitar alta densidade de potência e conseqüente risco de “escape” de sólidos junto ao efluente final, de forma que a área de influência recomendada pelo fabricante fosse respeitada.

Os aeradores utilizados neste projeto são especificados conforme Figura 3. As Figuras 4, 5 e 6 são exemplos de utilização destes equipamentos em algumas ETEs.

Tabela 2: Características do aerador cachoeira

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
Motor 1 cv trifásico (220/380V ou 220/440V)		
Rotor Com 48 pás tubulares		
Dimensões	S/ cobertura	C/ cobertura
Altura	0,60	0,76
Comprimento	1,50	1,80
Largura	1,90	1,90
Peso	62 kg	76 kg
Eficiência de oxigenação 1,90 KgO ₂ /Kwh		



Figura 4: Aeradores em ETE Queiroz



Figura 5: Aeradores na ETE Lucélia



Figura 6 Aeradores na ETE São Lourenço

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 a seguir foram utilizados dados comparativos do dimensionamento entre os três sistemas de lagoas de estabilização para auxílio no estudo em pauta:

Tabela 2: Dimensões de sistemas de lagoas de estabilização

CARACTERÍSTICAS	LF	LA+LF	LAF
Comprimento	2x(245,0 x 98,0 m)	2LAX(34,0 x 23,0m) 2LFX(155,0x62,0 m)	2x(116,0 x 29,0 m)
Profundidade (m)	1,80 m	LA: 4,5 m LF: 1,80 m	3,5 m
Área total Requerida (ha)	6,2 ha	2,7 ha	0,90 ha
Área per capita	3,1 m ² /hab	1,4 m ² /hab	0,45 m ² /hab
Tempo de detenção	28,8 d	13,7 d	8 d (adotado)
Tempo necessário para limpeza (*)	2,1 cm/ano: 48 anos	2 anos (lagoa anaeróbia)	7 anos
Aeradores	-	-	45 CV (45x1 CV ou 6x7,5 CV)

(*) Considerando tempo necessário para haver um acúmulo de lodo da ordem de 1,0 m reduzindo a altura útil da lagoa.

De acordo com a Tabela 2 comparativa entre os três sistemas, verifica-se que o sistema constituído de aeração diminui em até 85% a demanda por área para implantação do sistema ao diminuir o tempo de detenção necessário.

No entanto, a geração de lodo em maior velocidade é também esperada como consequência negativa deste uso de alternativa, de forma que se faz necessário antecipar a limpeza e desassoreamento destas lagoas.

Verificação da capacidade do sistema

Definimos o sistema como descrito na Tabela 2 para lagoa anaeróbia e facultativa. Para dimensionamento da quantidade de aeradores necessários à implantação no tratamento, foi utilizado como base de cálculo o capítulo do Livro Von Sperling, que trata de Lagoas Facultativas aeradas.

- Vazão inicial: 3.000 m³/d ou 34,72 l/s
- Volume LF: 34.200 m³

Considerando densidade de potência média em toda a lagoa de 1,5 W/m³, temos:



$$\emptyset = \frac{Pot}{V}$$

equação (1)

$$Pot = 1,5 \text{ W/m}^3 \times 34.200 \text{ m}^3$$

$$Pot = 51.300 \text{ W} \approx 70 \text{ cv ou } 70 \text{ aeradores de potência } 1 \text{ cv cada.}$$

No entanto, devido a uma melhor disposição dos equipamentos, será adotado 68 aeradores resultando em potência de 68 cv ou 50014,0 W.

Verificou-se aumento da capacidade do sistema de 34,72 l/s para 46,7 l/s, cerca de 35% com a implantação de 68 aeradores superficiais tipo escova, de baixa rotação, com consumo médio de 1cv cada.

Densidade de potência média:

$$\emptyset = \frac{Pot}{V} = \frac{50014}{34200} = 1,46 \text{ W/m}^3 \text{ (Recomendado adotar entre } 0,75 \text{ e } 1,50 \text{ W/m}^3)$$

Adotando como Eficiência de Oxigenação nas condições padrão de EO= 1,7 kgO₂/kWh (Taxa de transferência de acordo com a especificação do equipamento)

A eficiência de oxigenação no campo pode ser adotada como em torno de 60% da E.O. padrão, ou seja, 1,02 kgO₂/kWh

O requisito de oxigênio é:

$$RO = Pot \times EO$$

equação (2)

$$RO = 51 \text{ kgO}_2/\text{h ou } 1.224 \text{ kgO}_2/\text{d}$$

Da equação abaixo, temos que:

$$Q \cdot a \cdot (S_o - S) = RO$$

equação (3)

Onde:

Q: m³/d

a: coeficiente variando de 0,8 a 1,2 kgO₂/kgDBO₅. Adotado a=1,0

S_o: concentração de DBO₅ total (solúvel+particulada) afluente (g/m³)

S: concentração de DBO₅ solúvel efluente (g/m³)

$$\text{Portanto, } \frac{Q \cdot (S_o - S)}{1000 \text{ g/kg}} = 1.224$$

$$\text{Adotar } S_o = 350 \text{ mg/l e } S = 47 \text{ mg/l}$$

$$\text{Portanto } Q = 4.040 \text{ m}^3/\text{d ou } 46,7 \text{ l/s}$$

Verificou-se aumento da capacidade do sistema de 34,72 l/s para 46,7 l/s, cerca de 35% com a implantação de 68 aeradores superficiais de baixa rotação, com consumo médio de 1cv cada.

Disposição dos equipamentos

Os equipamentos foram distribuídos em três linhas de aeração, alternando a disposição e o sentido de rotação entre as linhas, e igualmente espaçados, de forma a maximizar a área de influência de aeração, conforme ilustrado na Figura 7. A disposição dos equipamentos em pelo menos 3 linhas sucessivas e espaçadas de 20 metros entre elas segue recomendações do fabricante para que alcancem uma melhor eficiência de oxigenação. Além disso, a disposição dos equipamentos ao longo da linha atendeu a uma distância mínima recomendada



pelos fabricantes de 6 metros dos equipamentos com a borda da lagoa, e o espaçamento uniforme entre os aeradores de acordo com a quantidade alcançada nos cálculos, conforme item 3.1. A disposição dos equipamentos em linhas sucessivas devem ser intercalados. O primeiro terço do comprimento da lagoa deve ser deixado livre.

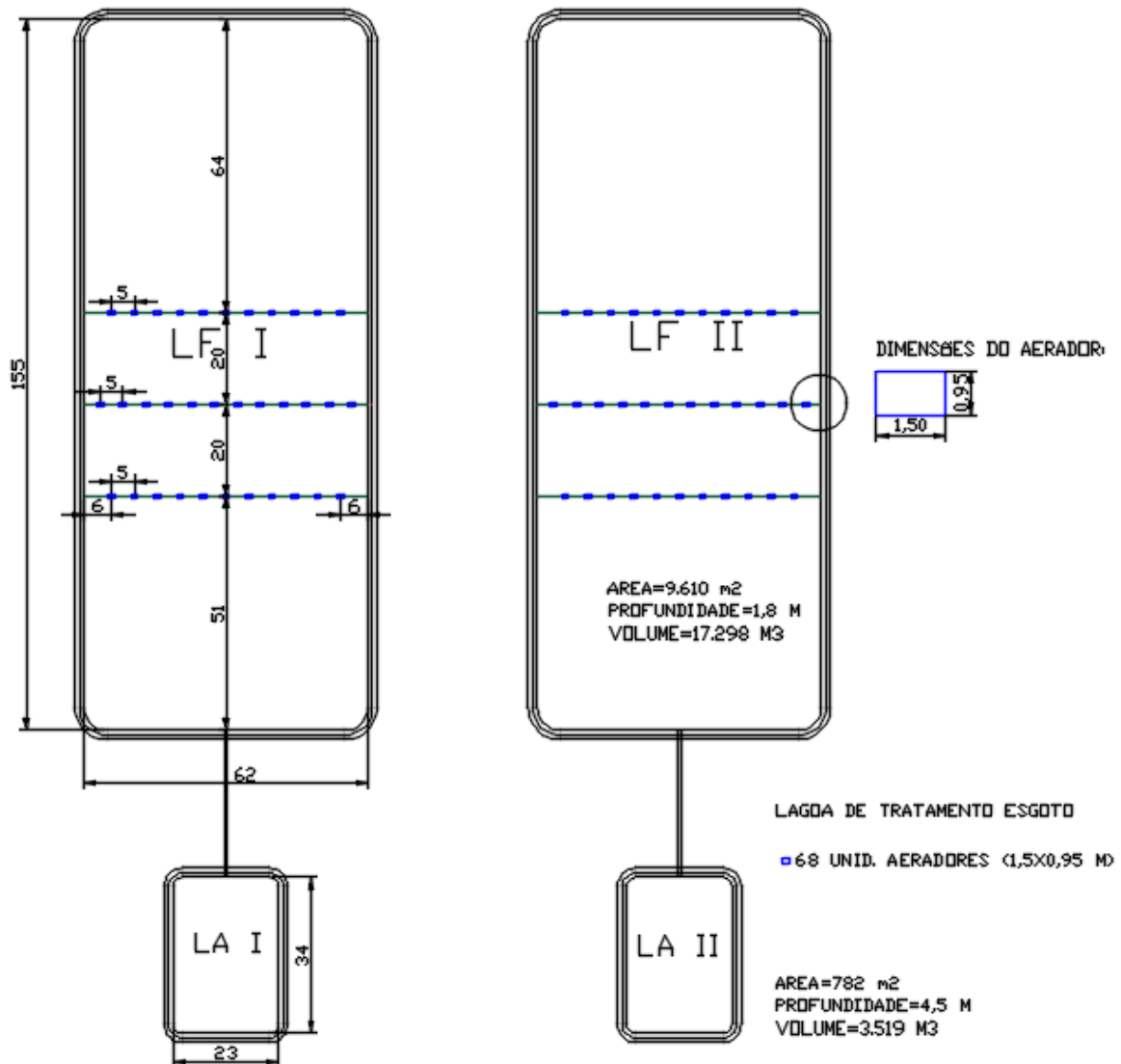


Figura 4: Aeradores em ETE Queiroz

A distribuição dos aparelhos é de extrema relevância para garantir a área de influência de aeração, de forma que o processo biológico fique equilibrado e atinja alta eficiência de remoção de DBO.

É esperado, que com este tipo de configuração, seja possível alcançar os resultados previstos como:

- Menor geração de lodo;
- Maior simplicidade operacional;
- Menor gasto energético;
- Distribuição da potência em número maior de equipamentos.

Análise dos custos

Após calculado a demanda de aeradores, verificou-se os custos necessários à implantação da estrutura para os equipamentos, bem como o custo gerado na manutenção do sistema.



Tabela 3: Custos para instalação dos aeradores cachoeiras

ITEM	QUANTIDADE	UNIDADE	VALOR UNITÁRIO (R\$)	VALOR TOTAL (R\$)
CUSTO PARA IMPLANTAÇÃO				
Aeradores superficiais tipo cachoeira	68,00	unid.	5.090,00	346.120,00
Cabo de aço inox	390,00	m	20,00	7.800,00
Fornecimento de quadro elétrico de comando	1,00	unid.	29.210,00	29.210,00
Interligação de energia na Área da ETE (1)	1,00	gb .	10.000,00	10.000,00
			Total	367.860,00
CUSTO ANUAL PARA MANUTENÇÃO DO SISTEMA				
Custo energia(2)	219.000	KWh/ano	0,42	91.980,00
Serviço de manutenção dos aeradores (3)	20,00	Unid.	1.850,00	37.000,00
			Total	128.980,00/ano

(1) – Considerando que seja necessário a extensão de rede de energia elétrica até a área da Estação de Tratamento de Esgotos (Valor global)

(2) – Com base no consumo de 68 aeradores em funcionamento durante 12 horas todos os dias do ano. Portanto o consumo estimado é de 219.000 kWh

(3) – Assumindo que 30% dos aeradores necessitem de serviço de condicionamento e revisão dos motoresreductores

Os fatores que dificultam a implementação dos aeradores é a necessidade por instalações elétricas, já que em muitos sistemas de tratamentos existentes não o possuem. É necessário, em muitos casos solicitar à concessionária de energia que execute rede que possa atender à ETE, e dentro das mesmas, se faz necessária a construção de nichos para abrigar quadro de entrada de energia e quadro de comando elétrico, conforme relacionados na composição dos custos inerentes ao processo na Tabela 3.

Deve-se prever também custos com manutenção dos equipamentos, como troca de peças, e conserto nos motoresreductores que compõem os aeradores. O manuseio correto dos equipamentos, alternando as horas de funcionamento e os locais de instalação dos mesmos são fatores que reduzem os desgastes dos aeradores.

A análise econômica constitui uma das partes fundamentais de uma avaliação de potencial do uso desta alternativa dentre outras. A falta de publicações sobre este assunto faz com que haja incertezas sobre a viabilidade de projetos com estas características.

CONCLUSÃO

Com base na literatura pesquisada e nos dados levantados nessa pesquisa, pode-se afirmar que a configuração do sistema de lagoas facultativas com os aeradores traz vantagens no aumento de eficiência e capacidade de tratamento da ETE. A ação dos equipamentos se dá na zona superficial da lagoa atuando para reduzir a taxa de aplicação em KgDBOhec/dia, e consequentemente assumem papel importante na redução de carga orgânica. O sistema deveria então passar a ser classificado como Lagoas Facultativas Aeradas Superficialmente, caracterizado pela ação dos equipamentos apenas na zona aeróbia.

Como resultado da pesquisa efetuada, a principal contribuição foi a verificação de aumento na capacidade de cerca de 35% no tratamento de esgotos de sistemas de lagoas existentes com a implantação de aeradores.

Já a análise econômica constituiu uma das partes fundamentais de uma avaliação técnica e econômica na escolha desta alternativa dentre as demais. A partir dos custos levantados, estimou-se um investimento na ordem de R\$ 370.000,00 para a implantação do sistema e gastos com despesas na ordem de R\$ 130.000,00 por ano com demais custos decorrentes do consumo de energia elétrica e manutenção dos equipamentos.

A contribuição científica deste artigo foi a avaliação técnico-econômica da utilização de uma das tecnologias disponíveis no mercado para a ampliação de sistemas existentes sem que seja necessário grandes obras e



aumento de área. A principal diferença do projeto avaliado em relação a uma estação de tratamento composta de lagoas de estabilização sem equipamentos para aeração está no fato do não investimento em instalações elétricas. Para o cenário disposto neste estudo, fica claro que a utilização desta alternativa possui alto custo, porém, para algumas situações constitui em um sistema de implantação simples, e que garante resultados rápidos frente a uma demanda adicional não contemplada nos projetos, de modo que assegure o cumprimento às Legislações ambientais para eficiência e lançamento em corpos receptores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE NETO, C. O. Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários: experiência brasileira. Rio de Janeiro: ABES, 1997.
2. BRASWORLD ENGENHARIA. Aerador Cachoeira. Disponível em: <http://www.brasworld.net/site/aeracao/cachoeira/>. Acesso em 16 de mar. 2018.
3. FRINHANI, Eduarda Magalhães Dias; MOREIRA, Michel Celso Gonçalves. Otimização da oxigenação de efluentes domésticos por meio da variação das configurações de operação de aeradores de fluxo descendente. *Unoesc & Ciência-ACET*, v. 5, n. 1, p. 73-82, 2014.
4. KAMIYAMA, Hissashi. Aerador mecânico superficial: as metodologias para a determinação da performance ("). 1987.
5. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Pesquisa nacional de saneamento básico. 2008. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 16 mar.2018.
6. POHLMANN, M. et al. Lagoa facultativa aerada superficialmente: um conceito de baixo custo para aumento de eficiência. Estudo de caso Distrito de Rechã-SP. *Hydro*, p. 29-33, ago. 2009.
7. VON SPERLING, M. Lagoas de estabilização. 2. ed. rev. e atual. Belo Horizonte: UFMG/DESA, 2002.