



ANÁLISE DE CUSTOS PARA A REDUÇÃO DE ODOR NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO PARQUE ATHENEU (GOIÂNIA/GO)

Eraldo Henriques de Carvalho ⁽¹⁾

Professor Titular da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás, com doutorado em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Livia Marques De Almeida Parreira

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Goiás (UFG). Especialista em Planejamento Geoambiental pela UniEvangélica. Pós graduanda em Especialização em Disposição e tratamento de Resíduos Sólidos e Líquidos pela Universidade Federal de Goiás. Engenheira Civil na Fundação Nacional de Saúde – FUNASA.

Fausto Batista Alves dos Santos

Engenheiro Civil pela Universidade Católica de Goiás - UCG. Pós graduado - MBA em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas. Engenheiro Civil na empresa de Saneamento do Estado de Goiás - SANEAGO.

Nayara Gracyelle Dias

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia Civil da UFG. Mestranda em Materiais de Construção (GECON/UFG). Pós graduanda em Especialização em Disposição e tratamento de Resíduos Sólidos e Líquidos pela Universidade Federal de Goiás. Engenheira Civil na empresa de Saneamento do Estado de Goiás - SANEAGO.

Simone Costa Pfeiffer

Engenheira geóloga pela Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP). Mestre e doutora em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos/Universidade de São Paulo (EESC/USP). Professora associada da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (EECA/UFG).

Endereço⁽¹⁾: Av. Universitária, nº. 1488 - Setor Universitário - Goiânia – Goiás. CEP: 74.605-220 - Brasil - Tel: +55 (62) 3209-6093 - e-mail: carvalhoufg@gmail.com

RESUMO

Dentre os impactos sociais causados por Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), a geração de odores é um dos que mais incomodam a vizinhança, causando efeitos psicológicos e à saúde



da população das imediações. Existem diversas tecnologias para a minimização de odores e variados custos de implantação e operação. Desta forma, este trabalho tem como objetivo realizar o levantamento dos custos de implantação e operação de duas tecnologias, além de observar o comportamento do parâmetro sulfetos no efluente, após a substituição da tecnologia de biorremediação com controlador de odor pela de aeração superficial. A metodologia adotada para a análise e comparação de viabilidade econômica foi a de Fluxo de Caixa Incremental, que consiste na diferença entre dois Fluxos de Caixas antes do projeto (biorremediação + controladores de odor) e depois da implantação do novo projeto (aeração superficial), fundamentando a tomada de decisão em todos os custos adicionais que o novo projeto possa trazer em comparação com a configuração existente anteriormente. Assim, foram elaboradas duas Demonstrações de Resultado do Exercício pelo período de 18 meses e efetuados os cálculos dos fluxos de caixa das duas tecnologias e o fluxo incremental. Todos os dados foram fornecidos pela empresa de saneamento que opera a estação e englobaram os custos de aquisição do produto utilizado na biorremediação e do controlador de odores mensalmente, assim como os custos operacionais e energéticos e impostos. Para a aeração superficial foram considerados os custos da aquisição dos equipamentos, adequações para fornecimento de energia, mão-de-obra e montagem, custo energético operacional, além dos impostos e depreciação do patrimônio. Embora a aeração represente um alto investimento inicial, o custo mensal foi menor do que a biorremediação e controladores de odores a partir do 11º mês. Conclui-se a partir deste estudo que análises de viabilidade econômica devem ser simuladas durante a avaliação e escolha das tecnologias a serem adotadas para gestão dos odores considerando todos os custos envolvidos desde a implantação até a operação e manutenção das tecnologias. Os resultados indicaram que a aeração superficial se apresentou mais vantajosa que a biorremediação combinada com controladores de odor; porém, deve ser feita sempre uma análise criteriosa de toda a configuração do sistema, de forma que os resultados não podem ser generalizados.

Palavras-chave: Remoção de odor, Biorremediação, Aeração Superficial, Tratamento de Esgoto.

INTRODUÇÃO/OBJETIVOS

A geração de odores é um dos impactos ambientais que causam mais incômodos à população vizinha de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE). Assim, é grande a importância da avaliação da produção de odores e do controle das emissões de gases, pois podem levar a estresses psicológicos, insônias, perda de apetite, entre outros problemas (BRENNAN, 1993).



Os odores provenientes de ETE estão relacionados à liberação de diversos compostos químicos para a atmosfera, como por exemplo, mercaptanos, nitratos, amônia, fenóis, aldeídos, ácidos orgânicos e ácido sulfídrico (BELLI FILHO *et al.*, 2001). Quando a ETE utiliza princípios de anaerobiose, esses transtornos tornam-se ainda mais intensos, visto que o gás sulfídrico, um dos produtos finais desse processo de tratamento, é produzido com maior intensidade e um dos grandes responsáveis pelos odores característicos das estações (CHERNICHARO *et al.*, 2010). O processo de formação desse gás se inicia, de maneira geral, quando bactérias anaeróbias utilizam sulfatos presentes nas composições químicas de proteínas e aminoácidos para obtenção de oxigênio, transformando-os em sulfetos, em ambientes em que a concentração de oxigênio está abaixo de 0,5 mg/L (MONTENY *et al.*, 2000; HEWAYDE *et al.*, 2006) ou entre 0,1 e 1 mg/L, de acordo com U. S. EPA (1985) *apud* Silva (2007). Esses sulfetos reagem com íons de hidrogênio presentes nos esgotos e formam o H₂S (METCALF; EDDY, 2003).

Dentre as técnicas utilizadas para a atenuação desse problema, a biorremediação consiste em potencializar a atividade de degradação de poluentes por microrganismos, selecionando os microrganismos envolvidos, adicionando nutrientes ou modificando características ambientais (BRANCO, 2002 *apud* RODRIGUES, 2005). Essa técnica foi estudada por Rodrigues (2005) em lagoas anaeróbias para redução de odores e o autor concluiu que a mesma foi eficiente visto que houve redução do número de reclamações pela população vizinha e uma diminuição na concentração de gás sulfídrico.

Embora existam trabalhos que afirmem que a biorremediação possui um baixo custo (ABBAS, 2003; MACEDO, 2015; TERRA, 2016), não foram encontradas muitas pesquisas relacionando os custos detalhados envolvidos nessa alternativa, daí a importância do desenvolvimento de pesquisas que avaliem os custos de implantação e operação dessa tecnologia, comparando-a com outras disponíveis. A biorremediação atua indiretamente na redução de odores uma vez que utiliza microrganismos para melhorar a qualidade do efluente e consequentemente a eficiência da ETE, pois quando estações de tratamento operam acima da capacidade projetada, há maior liberação de agentes odoríferos (TERRA, 2016). Portanto, a utilização desta medida pode ser ainda combinada com a implantação de agentes mascarantes ou neutralizadores de odores (neste trabalho denominado de controladores de odor) que reagem com os compostos que causam o mau cheiro sobrepondo-os ou neutralizando.

Outra técnica utilizada para mitigação de odores consiste na implantação de sistemas de aeração em que há a injeção de oxigênio de forma a reduzir a produção de sulfetos, pois só são produzidos em baixas concentrações de oxigênio (SILVA, 2007). Truppel (2002) desenvolveu sua pesquisa aplicando duas alternativas para redução de odores: uma com recirculação de 1/6 da vazão e outra com a combinação entre a recirculação e a implantação de aeradores. O autor



concluiu que a segunda alternativa foi mais eficiente que a primeira na redução de emissão de H_2S , além da redução do número de reclamações devido ao mau cheiro da estação.

A Estação de Tratamento de Esgoto Parque Atheneu, localizada em Goiânia/GO, encontrava-se operando com capacidade superior à máxima de projeto, apresentando fortes odores e resultando em reclamação da população circunvizinha. O sistema de tratamento envolve a utilização de uma lagoa anaeróbia e duas lagoas facultativas em série, sendo que a partir de 2010 a lagoa anaeróbia foi desativada para seu redimensionamento visando à ampliação da capacidade da estação. Na tentativa de resolver tal problema, a presente pesquisa teve por finalidade avaliar as tecnologias de remediação e de aeração superficial, considerando-se seus custos de implantação e operação e sua eficácia.

MATERIAL E MÉTODOS

Preliminarmente foi realizado levantamento dos custos da tecnologia de biorremediação associada a controlador de odores e os valores foram obtidos a partir dos dados contratuais com a empresa especializada em minimização de odores em ETE, que foi contratada pela concessionária através de procedimento licitatório. Esta tecnologia foi utilizada entre 2007 e 2013.

Em um segundo momento, foi realizado levantamento dos custos da tecnologia de aeração superficial, pois mesmo com a aplicação de biorremediação e a aspersão de controlador de odores, as reclamações de maus odores continuaram e a companhia de saneamento dimensionou e adquiriu 40 aeradores para instalação nas duas lagoas facultativas, sendo 28 na primeira lagoa e 12 na segunda lagoa.

Para a análise econômica, a partir dos custos levantados, procedeu-se com um estudo sobre a viabilidade do novo projeto (sistema de aeração) em comparação com o antigo cenário (biorremediadores + controlador de odores) aplicando-se conceitos de administração financeira.

O fluxo de caixa de um projeto de investimento é um modelo matemático que visa mostrar as diversas entradas e saídas efetivas de montantes ao longo do horizonte de projeto e que ocasionarão impacto na economia da empresa e, permitindo, dessa maneira conhecer a rentabilidade e viabilidade econômica. Nesse sentido, os fluxos de caixa representam a renda econômica gerada pelo projeto ao longo de sua vida útil. A construção do fluxo de caixa de um projeto de investimento deve ser realizada para que o projeto possa ser analisado com vistas na tomada de decisão sobre a implantação ou não. De maneira geral, o Fluxo de Caixa Incremental – FCI pode ser expresso da seguinte maneira:



$$FCI = FC \text{ estimado para o novo projeto} - FC \text{ estimado para a empresa com o projeto anterior}$$

A análise desse trabalho consistiu em trazer o fluxo de caixa incremental gerado ao longo de um período de 18 meses analisado para valor presente descontado por uma taxa mínima de atratividade que neste caso foi utilizado o WACC SANEAGO de 8,92% a.a. (índice adotado pela SANEAGO para outros investimentos no período).

Foram utilizados valores reais, fornecidos pela empresa estadual de saneamento, dos custos operacionais para os dois períodos (energia elétrica, mão-de-obra de operação, aquisição e aplicação de biorremediação e controle de odores para o período anterior à instalação dos aeradores e energia elétrica, operação, manutenção e depreciação para o período posterior à instalação dos aeradores).

Para o levantamento de custos envolvidos na implantação e operação da biorremediação com controle de odor, adotou-se os valores pactuados na contratação dos serviços, considerando-se o período de 18 meses a contar de dezembro de 2011, embora essa tecnologia tenha sido implantada a partir de 2007.

Após o levantamento das despesas referentes a cada tecnologia, realizou-se uma estimativa de receitas obtidas a partir da prestação dos serviços de tratamento do esgoto sanitário, para obtenção da projeção do faturamento anual. Nesse cenário, considerou-se a tarifa para coleta, no valor de R\$ 5,00/m³, com o equivalente a 20% desse valor tarifado para o tratamento, resultando em R\$ 1,00/m³. Considerando o tratamento de 110 l/s há uma expectativa de receita de R\$ 285.120,00 mensais para o serviço de tratamento de efluentes prestado, com total anual de R\$ 3.421.440,00.

O tratamento dos dados e cálculos das demonstrações de resultados das duas tecnologias foram realizados por meio do software Excel, sendo elaborada uma Demonstração de Resultado para cada tecnologia analisada neste trabalho (biorremediador + controladores de odor e aeradores superficiais). A partir dos resultados obtidos destas planilhas, foi elaborada mais uma planilha com os Fluxos de Caixa da Biorremediação + Controladores de Odor e o Fluxo de Caixa da Aeração e ainda o Fluxo de Caixa Incremental que, conforme informado anteriormente, é a subtração entre Fluxo de Caixa do Novo Projeto (Aeração Superficial) e do Fluxo de Caixa do Projeto Anterior (Biorremediação + Controladores de Odor).

Foram obtidos os laudos de análise físico-químico e bacteriológica, realizados conforme legislação vigente, entre 2012, quando ainda se utilizava a biorremediação para redução de odores na ETE,



até o ano de 2014, já com a adoção da mitigação do odor por meio dos aeradores superficiais. Utilizando-se os dados tabulados extraídos dos laudos, optou-se por elaborar um gráfico demonstrando a concentração de sulfetos no efluente da ETE no decorrer de 2012, 2013 e 2014, por ser considerado um dos indicadores de presença de odor.

RESULTADOS/DISCUSSÃO

De acordo com a viabilidade das duas tecnologias, após as análises econômico-financeiras, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 1 e 2 com relação aos custos médios e medianos que as tecnologias de biorremediação com controladores de odor e a de aeração superficial apresentaram. Observa-se que os custos médios e medianos mensais das duas tecnologias são bastante próximos.

Tabela 1. Custos médios e medianos mensais calculados para biorremediação e controlador de Odores durante o período de análise de 18 meses

Biorremediação com Controlador de Odores	Média dos Custos (R\$/mês)	Mediana dos Custos (R\$/mês)
Custos mão-de-obra para operação da ETE	8.000,00	8.000,00
Gastos com energia elétrica	699,60	340,74
Custo do produto para Biorremediação*	19.600,00	16.200,00
Custo do produto controlador de odores*	10.107,50	9.750,00
Despesa operacional anterior	38.407,10	36.430,17

Tabela 2. Custos médios e medianos mensais calculados para aeração durante o período de análise de 18 meses

Aeração Superficial	Média	Mediana
Custos mão-de-obra para operação da ETE	8.000,00	8.000,00
Gastos com energia elétrica	8.335,73	7.551,84
Custos com manutenção dos equipamentos instalados	4.494,00	4.494,00
Depreciação no período de 18 meses*	1.413,35	1.413,35
Despesa operacional posterior	22.243,08	21.490,55

*Considerada a depreciação total dos investimentos em 10 anos.

As Tabelas 3 e 4 apresentam os valores médios e medianos obtidos durante a análise das Demonstrações de Resultados do Exercício das duas alternativas estudadas. É curioso verificar que os resultados líquidos médios e medianos das duas tecnologias diferem entre si no valor de



R\$ 10.668,26 e R\$ 9.880,85, respectivamente. Esses valores são muito próximos e a análise só pode ser aprofundada quando se analisa os resultados do período de 18 meses como um todo para que seja percebido a partir de qual mês é possível uma tecnologia ser mais vantajosa economicamente que a outra.

Tabela 3. Demonstração de Resultado de Exercício com valores Médios e Medianos mensais durante o período de análise de 18 meses para a tecnologia de Biorremediação com Controlador de Odores

	Valores Médios (R\$)	Valores Medianos (R\$)
Receita	285.120,00	285.120,00
Receita	285.120,00	285.120,00
Custos	(38.407,10)	(36.430,17)
Operação da ETE	(8.000,00)	(8.000,00)
Energia	(699,60)	(340,74)
Biorremediação	(19.600,00)	(16.200,00)
Controlador de Odores	(10.107,50)	(9.750,00)
Manutenção	0,00	0,00
Depreciação	0,00	0,00
Resultado Antes dos Impostos	246.712,90	248.689,83
Imposto de Renda	(37.006,94)	(37.303,47)
Adicional Imposto de Renda	(22.671,29)	(22.868,98)
Contribuição Social	(22.204,16)	(22.382,08)
Resultado Líquido	164.830,51	166.135,29

Tabela 4. Demonstração de Resultado de Exercício com valores Médios e Medianos mensais durante o período de análise de 18 meses para a tecnologia de Aeração

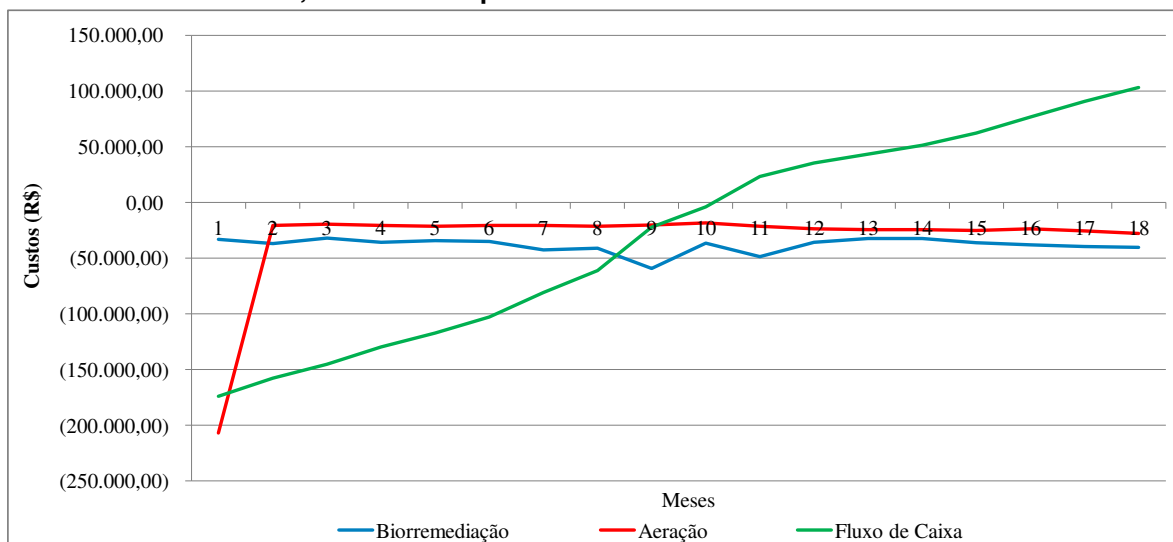
	Valores Médios (R\$)	Valores Medianos (R\$)
Receita	285.120,00	285.120,00
Receita	285.120,00	285.120,00
Custos	(22.243,08)	(21.459,18)
Operação da ETE	(8.000,00)	(8.000,00)
Energia	(8.335,73)	(7.551,84)
Manutenção	(4.494,00)	(4.494,00)
Depreciação	(1.413,35)	(1.413,35)
Resultado Antes dos Impostos	262.876,92	263.660,82
Imposto de Renda	(39.431,54)	(39.549,12)
Adicional Imposto de Renda	(24.287,69)	(24.366,08)
Contribuição Social	(23.658,92)	(23.729,47)
Resultado Líquido	175.498,77	176.016,14



A Figura 1 ilustra o comportamento dos dois investimentos, analisados neste trabalho no período de 18 meses. É possível observar que embora haja um alto desembolso no início da implantação da técnica de aeração (linha vermelha), seus custos gerais mensais são inferiores aos custos da biorremediação com controlador de odor (linha azul), mesmo considerando as manutenções e a depreciação que os equipamentos da aeração superficial sofrem. Assim, a linha verde, que representa o fluxo de caixa incremental, demonstra que o retorno do investimento feito com aeração superficial se inicia a partir do 11º mês após sua implantação. Ficou evidenciado, então, que a implantação da técnica de aeração superficial pode ser mais viável economicamente que a técnica de biorremediação com controlador de odor.

Não se pretende com este trabalho esgotar todas as análises que podem ser feitas com relação às tecnologias disponíveis apresentadas, visto que para cada caso deve ser elaborado estudo específico considerando que particularidades são inerentes a cada processo e local analisado, assim como os preços de mercado também se alteram com o tempo e são função da localidade. Todavia, análises de investimentos tem fundamental importância, principalmente para empresas públicas que devem prezar sempre pela melhor administração possível dos recursos públicos.

Figura 1. Custos de utilização das tecnologias de Biorremediação e Aeração, ao longo do período de 18 meses, considerado para análise do fluxo de caixa incremental

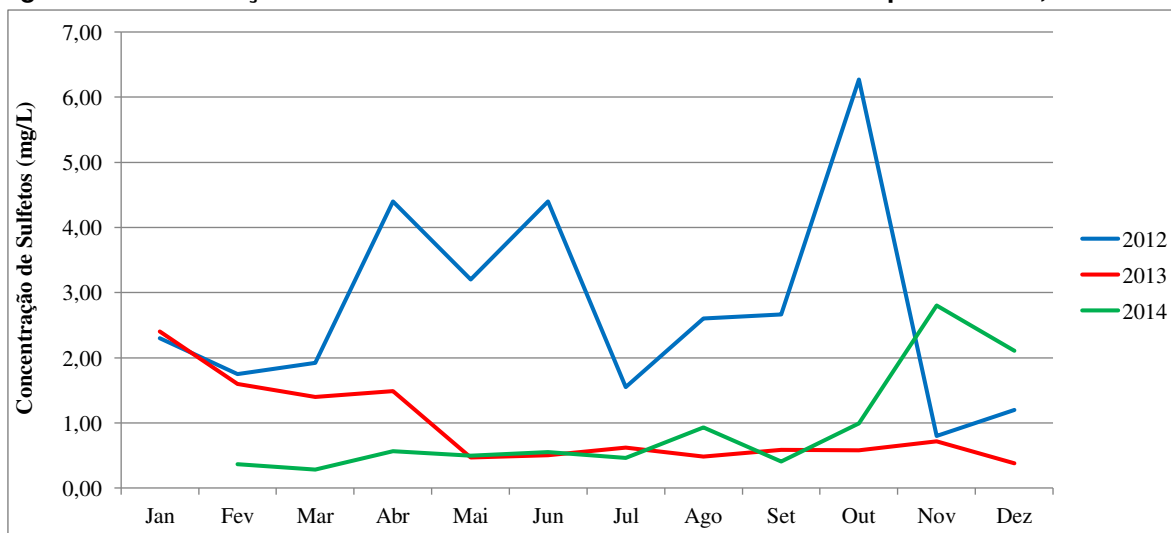


Para complementar a análise dos resultados, foi elaborado o gráfico apresentado na Figura 2 onde estão explanados os dados da concentração de sulfetos no efluente, medidos nos anos de 2012, 2013 e 2014. É possível verificar maior concentração de sulfetos, o que infere-se maior presença de odor, no ano de 2012, período em que a tecnologia adotada, era a biorremediação



com controlador de odores. Observa-se que a partir de maio de 2013 (data da instalação dos aeradores superficiais) há uma redução do sulfeto efluente às lagoas, mantendo-se estável, abaixo de 1,0 mg/L, até o mês de novembro de 2014 e com consequentemente redução do número de reclamações da vizinhança e também de notificações de órgãos reguladores e fiscalizadores.

Figura 2. Concentração de sulfetos medidos no efluente da ETE – Parque Atheneu, Goiânia/GO



CONCLUSÃO

A implantação de aeradores superficiais foi mais viável e eficiente do que a utilização de sistema de biorremediação, o qual não apresentou a eficiência técnico-financeira esperada, pois somente a partir da utilização da aeração superficial o número de reclamações diminuiu sensivelmente.

O retorno do investimento com a implantação do sistema de aeração se deu no final do primeiro ano de utilização da tecnologia.

Quanto a viabilidade técnica, é possível considerar que o sistema de aeração, além de ser viável economicamente, soma em si a vantagem de manter a concentração de sulfetos no efluente em níveis considerados dentro dos limites aceitáveis, o que ocorreu após a instalação e operação dos aeradores, em detrimento às concentrações apresentadas para o ano de 2012, com utilização da biorremediação com controlador de odores.



REFERÊNCIAS

- ABBAS, M. Z. M. A biorremediação como ferramenta para a minimização de problemas ambientais. 2003. 56f. Monografia (Especialização em Gerenciamento Ambiental) - Universidade de São Paulo, Escola de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP, 2003.
- BELLI FILHO, P.; COSTA, R. H. R. da; GONÇALVES, R. F.; CORAUCCI FILHO, B.; LISBOA, H. de M. Tratamento de odores em sistemas de esgotos sanitários. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios - PROSAB, cap. 8, 2001.
- BRANCO, S. M. Manual de esgotos: Origem, Tratamento, Biorremediação. Consórcio Bio ativo/Bio ambiental. Goiânia, 2002. 89p.
- BRENNAN, B. Odor Nuisance. Water and Waste Treatment. Volume 36, páginas 30-33. 1993.
- CHERNICHARO, C. A. L.; STUETZ, R. M.; SOUZA, C. L.; MELO, G. C. B. Alternativas para o controle de emissões odorantes em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.15, n.3, p. 229-236. 2010.
- HEWAYDE, E.; NEHDI, M.; ALLOUCHE, E.; NAKHLA, G. Effect of geopolymer cement on microstructure, compressive strength and sulfuric acid resistance of concrete. Magazine of Concrete Research. 58(5):321-31. 2006.
- METCALF; EDDY, Inc. "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse". McGraw-Hill International Editions, 3rd ed., New York, 1991.
- MONTENY, J.; VINCKE, E.; BEELDENS, A.; DE BELIE, N.; TAERWE, L.; VAN GEMERT, D. Chemical, microbiological, and in situ test methods for biogenic sulfuric acid corrosion of concrete. Cement and Concrete Research. 2000;30(4):623-34.
- RODRIGUES, F. P. Utilização da técnica da biorremediação em sistemas de esgotamento sanitário. Aplicação na cidade de Juazeiro do Norte, Ceará. Dissertação (Mestrado em Engenharia – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental), Universidade Federal do Ceará, 2005.
- SILVA, A. B. Avaliação da produção de odor na estação de tratamento de esgotos Paranoá e seus problemas associados. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia). Brasília, 2007.
- MACEDO, C.; ANGELI, R.; OLIVEIRA, S. D. de; CARMO, F. L. do. Mapeamento tecnológico dos processos de biorremediação: uma análise no contexto da biotecnologia sustentável. Cad. Prospec., Salvador, v. 8, n. 3, p. 450-458, jul./set. 2015.
- TRUPPEL, A. Redução de odores de uma lagoa de estabilização de esgoto sanitário e avaliação da qualidade de seu efluente. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.



- U. S. EPA - United States Environmental Protection Agency. (1985). Odor and corrosions control in sanitary sewerage systems and treatment plants. Design Manual. EPA – 625/1-85/018. Washington, 132 p.
- TERRA, V. C. Avaliação da eficiência da biorremediação na redução da carga orgânica de estações de tratamento de esgoto: o caso da ETE Neblina em Araguaína/TO. Revista EIXO, Brasília – DF, v. 5, n. 2, julho-dezembro de 2016. 98 – 105p.