

## TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO PELO PROCESSO ELETROLÍTICO EM REATOR DE BATELADAS SEQUENCIAIS

*Ariela Araújo Fonseca<sup>1</sup>; Norma Mendes Pereira Gontijo<sup>2</sup>; Yovanka Pérez Ginoris<sup>3</sup>, Marco Antonio Almeida de Souza<sup>4</sup>.*

Esta pesquisa tem o objetivo de verificar, no âmbito do tratamento de esgotos sanitários, a possibilidade de se realizar o pós-tratamento de um efluente de sistema biológico anaeróbico por meio do processo eletrolítico, no intuito de aumentar a eficiência do tratamento biológico em termos de remoção de matéria orgânica. Para isso, foi construído um reator eletrolítico (RE) em vidro que operou em bateladas sequenciais. A pesquisa foi realizada em duas fases com eletrodos distintos: (Fase 1) de aço inox e (Fase 2) de grafite puro rígido. Em cada fase, a corrente elétrica aplicada foi variada dentro de uma faixa considerada viável. Durante o período de operação do sistema, foi realizado o monitoramento de DQO, turbidez, condutividade e pH. A segunda fase de operação produziu o maior valor de eficiência do sistema em termos de remoção de matéria orgânica, equivalente a 79%, contra 70% de remoção obtido na primeira fase. Concluiu-se que os eletrodos de grafite puro se mostraram mais eficientes em comparação aos de aço inox. Dessa forma o RE se mostrou uma alternativa viável para o pós-tratamento desse efluente devido aos elevados valores de remoção de DQO alcançados, mesmo aplicando-se baixas faixas de correntes elétricas.

**Palavras-Chave** – Tratamento eletrolítico, eletrodos, remoção de matéria orgânica.

## WASTEWATER TREATMENT BY ELECTROLYTIC PROCESS IN SEQUENTIAL BATCH REACTOR

The objective of this research was to verify the possibility of performing a post-treatment of an anaerobic biological system effluent by means of electrolytic process, in order to increase the efficiency of biological treatment in terms of organic matter removal. For this, an electrolytic reactor (RE) was built that operated in sequential batches. The research was carried out in two phases with different electrodes, which were as follows: (Phase 1) stainless steel; and (Phase 2) rigid pure graphite. In each phase, the applied electric current was varied within a range considered viable. During the system operation period, COD, turbidity, pH and conductivity were monitored. The second phase of operation produced the highest values of the system in terms of removal of organic matter, 79%, against 70% in the first phase. It was concluded that rigid graphite is best suited than stainless steel. Thus the RE was a viable alternative for the post-treatment of this effluent due to the high values of COD removal achieved, even applying low electric currents.

**Keywords** – Electrolytic treatment, electrodes, removal of organic matter.

<sup>1</sup> Ariela Araújo Fonseca, ariela\_fonseca@hotmail.com\*

<sup>2</sup> Norma Mendes Pereira Gontijo, normabiomed@gmail.com

<sup>3</sup> Yovanka Perez Ginoris, yovanka.perez@gmail.com

<sup>4</sup> Marco Antonio Almeida de Souza, marcantoniosouza@gmail.com

## INTRODUÇÃO

O aprimoramento dos processos de tratamento de esgotos existentes e a melhoria constante dos efluentes tratados nas ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) são uma tendência universal. Esses processos de tratamento buscam adequar os efluentes às exigências ambientais, visando também as possibilidades de reuso, preservação dos ecossistemas, bem como a melhoria da qualidade de vida da população. Pode-se citar ainda a prevenção da contaminação do solo e dos aquíferos por conta de infiltrações e ainda a manutenção da qualidade da água dos mananciais existentes.

Atualmente os processos biológicos são os mais utilizados no tratamento de águas residuárias domiciliares, por meio de ETEs, com o objetivo maior de remoção de matéria orgânica e nutrientes. Por vezes esse tipo de tratamento apresenta limitações no que diz respeito a remoção de matéria orgânica e sólidos. Diante disso algumas alternativas são utilizadas para maximizar as potencialidades deste tratamento, a exemplo do processo eletrolítico, capaz de oxidar ou reduzir íons metálicos, íons cianeto, compostos organoclorados, hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos e seus derivados. Sua utilização possui grande relevância, pois reduz a toxicidade dos efluentes por meio da transformação de substâncias persistentes em substâncias facilmente biodegradáveis. Dessa forma, o tratamento eletrolítico permite o aumento da eficiência do tratamento biológico convencional (Claro *et al.* 2010).

Os processos eletrolíticos apresentam algumas vantagens tais como facilidade de operação e automação, utilização do elétron como reagente, dispensabilidade de adição de substâncias químicas de alto custo, evitando problemas com estocagem e transporte, presença do cloro residual como agente oxidante, além de formarem radicais  $-OH$  e de permitirem funcionar em reatores compactos. O tempo de detenção do tratamento eletrolítico é inferior se comparado aos processos de tratamento biológico, que variam de horas a dias, conforme o processo utilizado, quer sejam lodos ativados ou lagoas de estabilização, por exemplo. Contudo, em alguns casos, pode-se ter algumas desvantagens, como o desgaste e consumo dos eletrodos, alta produção de lodo e a necessidade de um controle operacional rígido. Os processos eletrolíticos têm sido uma opção para tratamento de algumas águas residuárias, tais como os esgotos sanitários, podendo ser empregados como processo único ou acoplado com outros processos, na busca de qualidade mais alta dos efluentes tratados e da manutenção e melhoria das águas receptoras e das condições ambientais.

## OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa é avaliar, em escala de bancada, o desempenho de um reator eletrolítico para o tratamento de efluente oriundo de tratamento biológico anaeróbio de esgotos gerados por sistemas unifamiliares. Para alcançar este objetivo geral, foram delineados os seguintes objetivos específicos:

- (1) Concepção, confecção e operação de um reator eletrolítico em escala de bancada, do tipo batelada, para o tratamento de efluente de processo anaeróbio.
- (2) Avaliação do desempenho em termos de eficiência de remoção de DQO do tratamento eletrolítico, utilizando dois tipos de eletrodos.

## METODOLOGIA DA PESQUISA

## Concepção, projeto e construção do sistema eletrolítico em escala de bancada

A pesquisa foi dividida em duas fases, a primeira utilizando-se eletrodos de aço inox e a segunda fase utilizando eletrodos de grafite puro. O objetivo foi comparar o desempenho do tratamento utilizando eletrodos destrutivos e não destrutivos. Deste modo foi concebido um reator que funcionou em bateladas sequenciais, onde alternou-se o tipo de eletrodos. O sistema concebido foi composto por:

- Um reator de vidro retangular com volume total de 4 litros, e possuía as seguintes dimensões: largura igual a 15 cm, comprimento de 15 cm, e altura equivalente a 25 cm.
- Eletrodos compostos por 8 placas de aço inox e 8 placas de grafite puro rígido 13 cm de altura, 14 cm de largura, 1,0 e 2,7 mm de espessura cada placa, respectivamente, e 1,5 cm de espaçamento entre placas;
- Bomba Sarlo Better 2700 L/h, a qual fazia a distribuição do afluente para o reator.
- Compressor de ar Big Air A420, que garantiu a homogeneização do licor misto do reator.
- Fonte alimentadora de corrente contínua Agilent E3631A 110V
- Fiação: Fios e garras metálicas
- Multímetro digital
- Válvulas solenoides
- Bomba de porão 12V 500GPH, cuja função foi auxiliar na retirada do efluente do reator.

Na Figura 1 pode-se visualizar o detalhe isométrico do reator eletrolítico. Já na Figura 2 pode-se observar o reator eletrolítico durante as duas fases de operação.

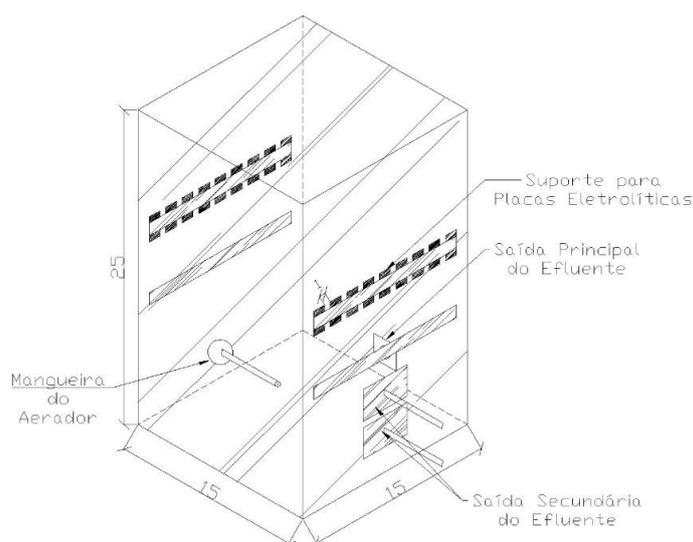


Figura 1 - Detalhe isométrico de um reator.



Figura 2 - Reator eletrolítico com eletrodos de aço inox (à esquerda) na primeira fase de operação e reator eletrolítico com eletrodos grafite na segunda fase de operação (à direita).

### Delineamento experimental

Devido à grande variação da composição das águas residuárias domésticas provenientes das ETEs, definiu-se a utilização de uma água residuária sintética para simular o esgoto doméstico oriundo de tratamento anaeróbio. Para tal, escolheu-se o efluente do trabalho de Achaval (2014), que desenvolveu a pesquisa de um protótipo de estação compacta para tratamento de esgotos em unidades residenciais unifamiliares. Decidiu-se utilizar a metodologia proposta por Torres *et al.* (1996) para a preparação da ARS, assim como realizado por Moura (2011) e Michelin (2006). Foi possível, por meio dessas pesquisas, entender a metodologia de produção, assim como as adaptações realizadas para cada caso em especial. Dessa forma, foi utilizada uma ARS com aproximadamente  $265 \text{ mgDQO.L}^{-1}$ . Decidiu-se por delimitar em 25 dias a operação do reator para condição experimental correspondente a uma faixa de corrente aplicada. A cada 5 dias foi aplicada uma faixa de corrente diferente. A aplicação de cada faixa de corrente se iniciava sempre na segunda e terminava na sexta-feira. Durante o final de semana a corrente elétrica não era aplicada no sistema. As faixas de corrente elétrica foram sugeridas de acordo com as especificações da fonte elétrica, e de acordo com a literatura estudada. No que diz respeito à variação de corrente no reator, e o funcionamento de cada ciclo, é possível entender sua operação observando o especificado nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Operação do reator eletrolítico (RE) na primeira e segunda fase de operação.

<b>Reator Eletrolítico</b>				
Etapas do ciclo	Tempo de duração	Elementos variáveis		
		Corrente elétrica	Valor (A)	Aeração
Enchimento	1 min	Desligada	-	Ligada
Reação	3 h	Ligada	0,001 a 0,1	Ligada
Sedimentação	1 h	Desligada	-	Desligada
Descarte do efluente	2 min	Desligada	-	Desligada

Tabela 2 - Faixas de corrente e densidades de correntes aplicadas no sistema durante as duas fases de operação.

Faixas de corrente (A)	Faixas de corrente (mA)	Densidade de Corrente (A/m <sup>2</sup> )
0,001	1	0,0549
0,005	5	0,2747
0,010	10	0,5494
0,050	50	2,7473
0,1	100	5,4945

O sistema foi operado em bateladas com duração de 4 horas, sendo 3 horas de reação e 1 hora para sedimentação, realizando dois ciclos durante o dia. O enchimento e descarte eram feitos de forma instantânea no início e no final de cada ciclo.

### Amostragem e Análises realizadas no afluente e efluente do reator.

Foram realizadas amostragens, coletas e análises diárias e semanais. A coleta foi realizada na bombona de alimentação, dentro do reator, e no receptáculo do efluente. A amostragem tanto do licor misto, como o do efluente tratado, era realizada de forma composta, iniciando-se a partir do primeiro ciclo do dia. Eram coletadas amostras simples a cada ciclo, e no final do dia as amostras eram homogeneizadas e transferidas para um recipiente próprio, a partir de então eram refrigeradas até o dia seguinte. Esse procedimento era realizado de segunda a quinta-feira, pois na sexta-feira as amostras coletadas eram acidificadas para conservar suas características até a realização das análises na segunda-feira. Todas as análises foram realizadas de acordo com os padrões estabelecidos pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995)*. As análises realizadas e o método seguido para cada uma podem ser visualizados nos tópicos abaixo:

- Demanda química de oxigênio: Medição da carga orgânica presente na amostra utilizando o método colorimétrico.
- pH: Foi utilizado o método potenciométrico para a medição do pH das amostras.
- Turbidez: Utilizou-se um equipamento denominado Turbidímetro nefelométrico para a determinação da turbidez.
- Condutividade: Foi mensurada por meio de um condutivímetro.

Com o objetivo de serem obtidas as massas reais dos eletrodos utilizados, esses foram pesados no início e no final de cada uma das três fases de operação. Ao final de cada dia de operação as placas eram lavadas apenas com água corrente para extrair manualmente os possíveis materiais aderidos durante o tratamento. Foi evitado o uso de materiais abrasivos como esponjas e palhas de aço, assim como meios ácidos, que podem retirar a massa do eletrodo, comprometendo a medida da variação das massas.

### ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS DAS DUAS FASES DE OPERAÇÃO

Deve-se ressaltar que a primeira fase teve duração de apenas quatro semanas e não foi possível concluir a operação devido à problemas operacionais. Já a segunda fase operou normalmente sob as condições previstas e funcionou durante cinco semanas.

Na Figura 3 é possível visualizar uma média semanal dos valores de condutividade e pH obtidos no reator eletrolítico durante as duas fases operacionais.

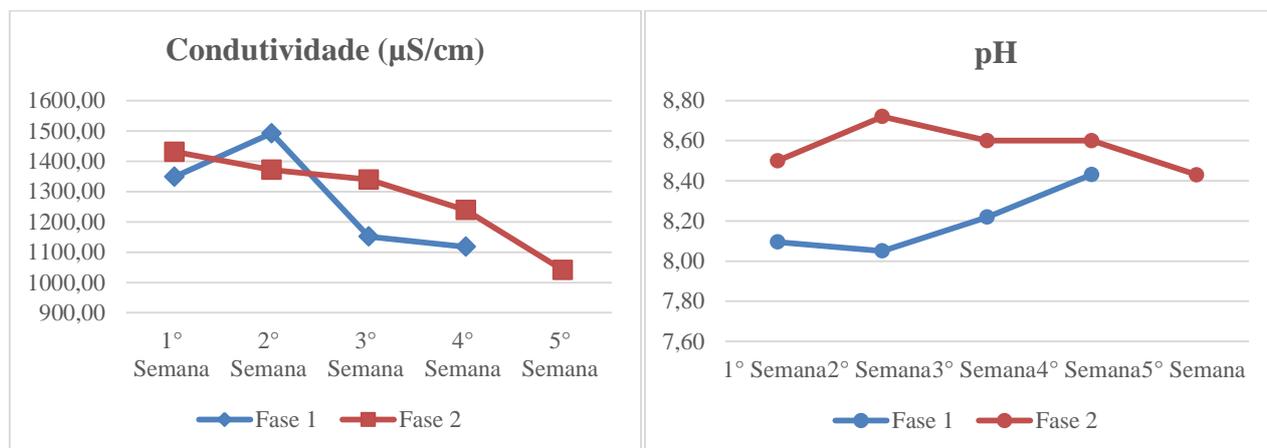


Figura 3 - Média semanal dos resultados de condutividade e pH do sistema experimental.

Nota-se que a condutividade dos reatores seguiu uma tendência de aumento e posterior diminuição dos valores durante as duas fases de operação. Esse fato pode ser justificado pelo aumento do pH. Sabe-se que a partir do aumento dos valores de potencial hidrogeniônico ocorre uma redução da quantidade de espécies iônicas monoméricas dissolvidas no meio, o que corresponde à diminuição da condutividade, de acordo com Crespilho e Rezende (2004). É importante ressaltar também que a ação da eletrólise tem uma relação próxima com a condutividade, pois a transmissão de corrente elétrica é proporcional à condutividade do meio. Na primeira fase percebeu-se a elevação do pH no reator RE em função do aumento da corrente elétrica aplicada. Identificou-se o mesmo padrão na pesquisa de Sinoti (2004), quando se detectou o aumento do pH ao utilizar eletrodos reativos de ferro e elevados valores de pH final após a aplicação de maiores valores de corrente elétrica.

Na primeira fase de operação o efluente tratado (EF) demonstrou maior turbidez do que na segunda fase, o que se atribui ao emprego de eletrodos destrutivos que sofreram rápido desgaste. A perda de massa por eletrodo foi de 1,18 gramas na primeira fase e 0,33 gramas na segunda fase de operação. Portanto, a maior perda de massa nos eletrodos ocorreu durante a primeira fase por conta dos eletrodos de utilizados. Constatou-se uma pequena perda de massa nos eletrodos de grafite na segunda fase, isso pode ser atribuído ao manuseio e lavagem diária dos eletrodos. Pode-se afirmar que essas perdas na segunda fase foram insignificantes, não exercendo influência nos efluentes tratados dos reatores.

Na Tabela 4 são demonstradas as médias globais dos valores de eficiência de remoção de DQO obtidos nos três pontos analisados durante as três fases operacionais.

Tabela 4 - Valores médios semanais de eficiência de remoção de DQO, obtidos no reator eletrolítico durante as duas fases de operação do sistema experimental.

	1° fase – DQO (%)	2° fase – DQO (%)
	RE	RE
<b>1° Semana</b>	81,35	67,60
<b>2° Semana</b>	53,90	70,30
<b>3° Semana</b>	65,88	73,20
<b>4° Semana</b>	77,07	90,20
<b>5° Semana</b>	-	92,20

Atingiu-se na primeira semana, durante a primeira fase de operação no RE, com a utilização de uma corrente aplicada de 0,001 A, o melhor desempenho desse reator, 81% de eficiência de remoção de DQO. Considerando a utilização de eletrodos de aço inox nessa fase, sabe-se que devido à oxidação da placa, há liberação de ferro no meio líquido, o que pode ter causado interferência na análise de DQO. Na primeira fase de operação, a média da remoção de DQO durante as quatro semanas de operação do sistema experimental foi de 70%, resultado próximo à pesquisa de Rodrigues *et al.*, (2001), que utilizaram eletrodos de ferro e alumínio no tratamento do efluente de reator UASB, obtendo eficiência de remoção de DQO de até 74,74%. No entanto, Senthilkumar *et al.* (2012), com eletrodos de Ru-Ti e aço inoxidável tratando águas residuárias contendo o corante *porcion scarlet*, alcançaram 80% de remoção no tratamento eletroquímico aplicado individualmente, superando o RE.

Na segunda fase de operação, durante a última semana e após a aplicação de uma corrente elétrica de 0,1 A, o maior valor de eficiência de remoção de DQO no RE foi alcançado, equivalente à 92%. Na primeira semana de operação, ao aplicar uma corrente elétrica baixa, obteve-se no RE uma eficiência acima de 50% de aproveitamento, percebeu-se que o aumento da corrente durante as semanas de operação, ocasionava o aumento da eficiência de remoção de DQO no RE, confirmando a premissa do tratamento eletrolítico, de quanto maior a corrente elétrica aplicada, maior a eficiência do tratamento. No entanto observou-se que o reator RE apresentou uma eficiência média de remoção elevada, 80%, uma vez que, por meio de pesquisa da literatura estudada, percebeu-se que no sistema de Rodrigues *et al.* (2001) apresentou uma eficiência de remoção de DQO de 74,74%, e na pesquisa de Senthilkumar *et al.* (2012), o tratamento eletrolítico aplicado de forma individual alcançou 80%.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O resultado obtido durante a primeira fase de operação sugere que à baixíssimas correntes elétricas foi possível alcançar, sob as condições estudadas, altos percentuais de remoção de DQO. Já na segunda fase de operação, o melhor desempenho do RE, se deu durante a aplicação da última condição experimental. Sugere-se que, devido à interferência da oxidação do ferro na primeira fase, possa ter ocorrido uma perturbação, ainda que discreta, na análise de DQO. No caso da segunda fase, devido às características dos eletrodos, pois eram inertes, percebeu-se que o aumento da remoção de DQO se deu devido ao aumento da corrente. As diferenças entre os percentuais de remoção de DQO no processo eletrolítico durante as duas fases podem ser atribuídas à diferença de materiais dos eletrodos. Os melhores resultados foram alcançados durante a utilização dos eletrodos de grafite puro rígido, concluindo-se que os eletrodos não destrutíveis se mostraram mais eficientes.

São recomendações do trabalho:

- Realizar a avaliação econômica do processo, considerando os custos de implantação, dos eletrodos, manutenção e gasto de energia elétrica.
- Viabilização do uso de fontes alternativas de energia elétrica, como a aplicação de placas solares em estações compactas de tratamento de esgoto em comunidades isoladas.
- Comparar os eletrodos de grafite puro com outros eletrodos inertes, a exemplo do titânio combinado com outros metais e eletrodos de diamante dopado com boro.
- Testar o sistema utilizando esgoto doméstico real como afluente e avaliar a sua capacidade operacional para remover organismos patogênicos.

## REFERÊNCIAS

- CLARO, E. M. T.; OTENIO, H. M.; BIDÓIA, D. E.; SILVA, G. M. M. N.; SANTOS, V. (2010). Avaliação em escala laboratorial da aplicação do processo eletrolítico em efluente de lagoa de estabilização de esgoto urbano. *Química Nova*. Vol.33, n.3, 557-561.
- CRESPILHO, F. N.; REZENDE, M.O.O. (2004). *Eletroflotação – Princípios e Aplicações*. São Carlos. Rima, 96 p.
- MICHELAN, R. (2006). *Influência do tipo de impelidor sobre o desempenho do reator anaeróbio em batelada sequencial com biomassa granulada tratando esgoto sintético*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 181p.
- MOURA, B. R.; (2011). *Desempenho de um reator vertical de fluxo contínuo e leito estruturado com recirculação de efluente, submetido à aeração intermitente, na remoção de carbono e nitrogênio de um efluente sintético*. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 92p.
- RODRIGUES, M.C.; BRITO, S.R.; SINOTI, A.L.L.; SOUZA, M.A.A. (2001). Tratamento eletrolítico de efluentes de reatores anaeróbios. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, João Pessoa, p.1-34.
- SENTHILKUMAR, S.; BASHA, A.C.; PERUMALSAMY, M.; PRABHU, H.J. (2012). Electrochemical oxidation and aerobic biodegradation with isolated bacterial strains for dye wastewater: Combined and integrated approach. *Electrochimica Acta*. n. 77, p. 171-178.
- SINOTI, A. L. L. (2004). Processo eletrolítico no tratamento de esgotos sanitários: estudo da sua aplicabilidade e mecanismos associados. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 143p.
- TORRES, P. L.; FORESTI, E.; VAZOLLER R. (1996). Composición y uso de agua residual doméstica en reactores a escala de laboratorio. In *Anais do XXV Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Cidade do México, México.