



TECNOLOGIA ELETROQUÍMICA NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO: PRODUÇÃO DE ÁGUA PARA USOS INDUSTRIAIS

Carolina Scritori Bitencourt – scritoricarolina@hotmail.com
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Escola de Engenharia - Departamento de Materiais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais PPGE3M
LACOR - Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais
Campus do Vale Setor IV – Prédio 43426 Av. Bento Gonçalves, 9500, Bairro Agronomia 91501-970 -
Porto Alegre - RS

Tatiane Benvenuti – benvenuti.tatiane@gmail.com
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Escola de Engenharia - Departamento de Materiais- PPGE3M
LACOR - Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais

Caline Rodrigues Gally – calinegally@hotmail.com
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Escola de Engenharia - Departamento de Materiais - PPGE3M
LACOR - Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais

Andréa Moura Bernardes – amb@ufrgs.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Escola de Engenharia - Departamento de Materiais - PPGE3M
LACOR - Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais

Jane Zoppas Ferreira – jane.zoppas@ufrgs.br
Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Escola de Engenharia - Departamento de Materiais - PPGE3M
LACOR - Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais

Resumo: Embora o Brasil apresente carências no sistema de saneamento básico, o percentual de esgoto doméstico tratado no país vem aumentando. A crise hídrica, principalmente na região sudeste do país, impulsionou a busca de novas fontes de abastecimento de água para a indústria. Processos eletroquímicos e de membranas para o tratamento de efluentes industriais e domésticos constituem alternativas promissoras para a produção de água para reuso. Amostras previamente tratadas em uma estação de tratamento de efluentes domésticos foram submetidas a processos de eletrodiálise (ED) e fotoeletrooxidação (FEO). O tratamento por eletrodiálise permitiu a produção de água com baixa condutividade elétrica, porém sem obter a remoção da matéria orgânica. O processo oxidativo avançado de FEO indicou a mineralização parcial da matéria orgânica. O tratamento conjunto FEO+ED apresentou os melhores valores para extração percentual de íons e matéria orgânica, confirmando a eficiência das tecnologias para a produção de água de reuso a partir de esgoto.

Palavras-chave: eletrodiálise, fotoeletrooxidação, remoção de íons, matéria orgânica



ELECTROCHEMICAL TECHNOLOGY IN SEWAGE TREATMENT: WATER PRODUCTION FOR INDUSTRIAL USES

Abstract: Although Brazil has deficiencies in basic sanitation, the percentage of domestic sewage treated in the country is increasing. The water crisis, especially in the Southeast region, boosted the search for new sources of water supply for the industry. Electrochemical and membranes processes for the treatment of industrial and domestic effluents are promising alternatives to produce reuse water. Samples previously treated in a domestic wastewater treatment plant were treated by electro dialysis (ED) and photoelectrooxidation (PEO). Electrodialysis enabled the production of water with low electrical conductivity, but without removal of organic matter. The advanced oxidation process of PEO indicated the partial mineralization of organic matter. The joint treatment PEO + ED showed the best values for ions and organic matter percentage extraction, confirming the effectiveness of technologies for the production of reuse water from sewage.

Keywords: electrodialysis, photoelectrooxidation, ions removal, organic matter

1. INTRODUÇÃO

O descarte de efluentes industriais e domésticos com elevada carga de contaminantes afeta os ecossistemas e a saúde humana. Com o objetivo minimizar o impacto e a poluição ambiental, somado à necessidade de encontrar alternativas para períodos de escassez de água, a legislação ambiental, cada vez mais restritiva, estimula o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias alternativas mais eficientes para a produção de água com qualidade para reuso a partir de diferentes efluentes.

No Brasil 99% dos municípios possuem abastecimento de água, entretanto somente parte dos efluentes gerados nos municípios é coletada (55%) e apenas 28% são tratados de acordo com os dados do IBGE de 2008 (DANTAS *et al.*, 2012). O efluente doméstico não tratado é lançado de forma irregular em corpos hídricos receptores. Leis e regulamentos permitem o lançamento de efluentes tratados nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) com padrões de qualidade pré-estabelecidos. No entanto, as técnicas utilizadas nos tratamentos, muitas vezes são de custo elevado e, frequentemente não apresentam eficiência satisfatória (QUEGE, 2011).

Algumas estações de tratamento de esgoto doméstico no país já trabalham, em sistemas-teste, com tecnologias de tratamento empregadas em países europeus, como é o caso da implantação de um filtro de macrófitas flutuantes. Uma macrófita eficiente neste tratamento é a *Typha domingensis Pers*, que pode ser utilizada na despoluição de lagos e rios, através da remoção de macronutrientes como o nitrogênio e o fósforo, provenientes de despejos industriais e domésticos, utilizando-se do substrato e de biofilmes de bactérias (COSTA *et al.*, 2015).

A tecnologia eletroquímica associada à de membranas se torna uma boa alternativa uma vez que as cidades sofrem cada vez mais com problemas de disponibilidade de espaço físico para a construção de grandes tanques de lodo ativado e lagoas para polimento final do efluente tratado.

Tecnologias de membranas como micro, ultra e nanofiltração, osmose reversa e eletrodialise já são empregadas em diversas indústrias para o tratamento de efluentes para reuso, porém, em se tratando de polimento de esgoto doméstico para reuso industrial, ainda há uma lacuna para investigação. Na Austrália, processos de eletrodialise reversa integrados a sistemas de filtração foram avaliados quanto à capacidade de remoção de sais no tratamento do esgoto municipal, com o objetivo de produzir água para reuso em horticultura (GOODMAN *et al.*, 2013). A eletrodialise (ED) – onde uma diferença de potencial através de membranas semipermeáveis é usada para separar espécies iônicas de uma solução aquosa – permite a remoção de íons do efluente, produzindo uma água de baixa condutividade elétrica; porém, não remove compostos orgânicos não-iônicos.

Para remover contaminantes orgânicos, os processos oxidativos avançados (POAs) são alternativas. Estes se caracterizam pela geração de radicais hidroxila (HO•), altamente reativos, para oxidar compostos orgânicos presentes nos efluentes líquidos. Entre as vantagens da utilização dos POAs, é

REALIZAÇÃO

CORREALIZAÇÃO

INFORMAÇÕES

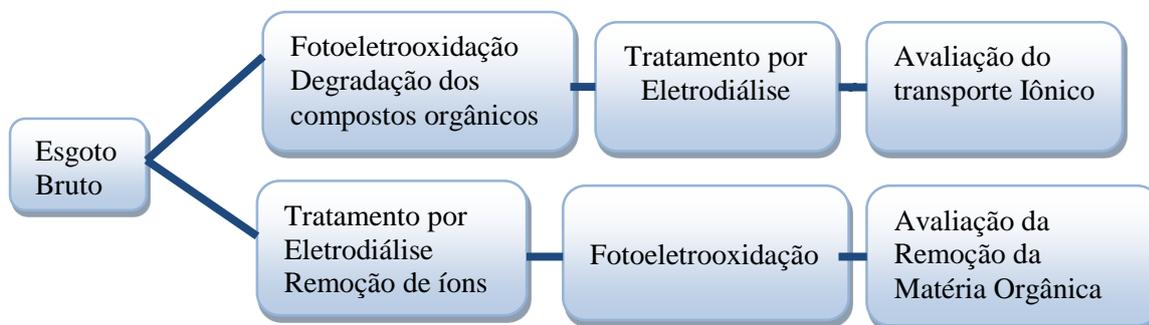
importante destacar o fato de ocorrer a mineralização completa dos poluentes orgânicos, degradados a CO_2 , água e ácidos minerais. Por isso, são considerados métodos promissores para a degradação da matéria orgânica e de poluentes orgânicos perigosos e tóxicos (OLLER *et al.*, 2011). Investigações têm sido realizadas e os resultados demonstram a degradação de matéria orgânica através da aplicação das técnicas fotoeletroquímica (RODRIGUES *et al.*, 2008), eletroquímica (COMNINELLIS *et al.* 1997), UV-fotooxidação (GOLIMOWSKA, 1996), UV (KANG *et al.*), O_3 (RAO, 2002) e reagente de Fenton (OLIVEIRA & LEÃO, 2009). O processo escolhido foi o de fotoeletrooxidação (FEO), que associa a aplicação de corrente elétrica e luz UV sobre um ânodo dimensionalmente estável (ADE) para a geração de radicais hidroxila a fim de degradar os compostos orgânicos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência das técnicas eletroquímicas de eletrodiálise e fotoeletrooxidação no polimento de esgotos domésticos, visando a produção de água para reuso industrial. A avaliação dos tratamentos individuais e em série, e o monitoramento de parâmetros como condutividade, extração de íons e concentração de matéria orgânica serão determinantes para a qualidade da água para usos industriais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 mostra uma representação esquemática da metodologia adotada neste trabalho. Uma amostra de efluente doméstico (esgoto), previamente tratado no Filtro de Macrófitas Flutuantes *Typha domingensis Pers.*, foi coletada na Estação de Tratamento de Esgoto Mundo Novo em Novo Hamburgo. Este efluente foi submetido aos tratamentos eletroquímicos visando a produção de água para usos industriais.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia utilizada no presente trabalho.



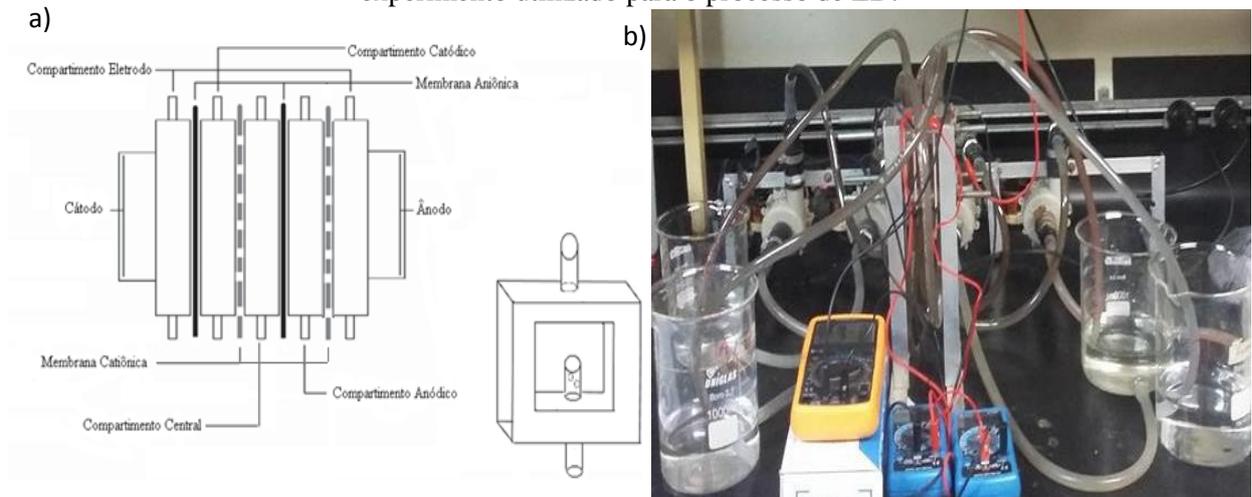
2.1. O sistema de Eletrodiálise

Foram realizados ensaios em uma célula de bancada de cinco compartimentos com quatro reservatórios, confeccionados em acrílico transparente, como representado na Figura 2. Os compartimentos são separados por membranas catiônicas e aniônicas, alternadas. O fluxo do sistema foi mantido constante através de bombas centrífugas. Prolongações perfuradas, dentro de cada compartimento promovem um fluxo turbulento das soluções.

Cada compartimento possui reservatório próprio para 2 L de solução de trabalho, sendo o efluente colocado no compartimento central. Uma solução de Na_2SO_4 $0,5 \text{ g.L}^{-1}$ preencheu os compartimentos catódico e anódico, enquanto que outra solução de Na_2SO_4 4 g.L^{-1} alimentou o reservatório dos eletrodos. A densidade de corrente aplicada foi de $1,6 \text{ mA.cm}^{-2}$, valor obtido em avaliações prévias de determinação de corrente limite do sistema.

Os eletrodos, localizados nas extremidades da célula, consistem de um par de placas de $\text{Ti/Ti}_{0,7}\text{Ru}_{0,3}\text{O}_2$ que atuam como cátodo e ânodo.

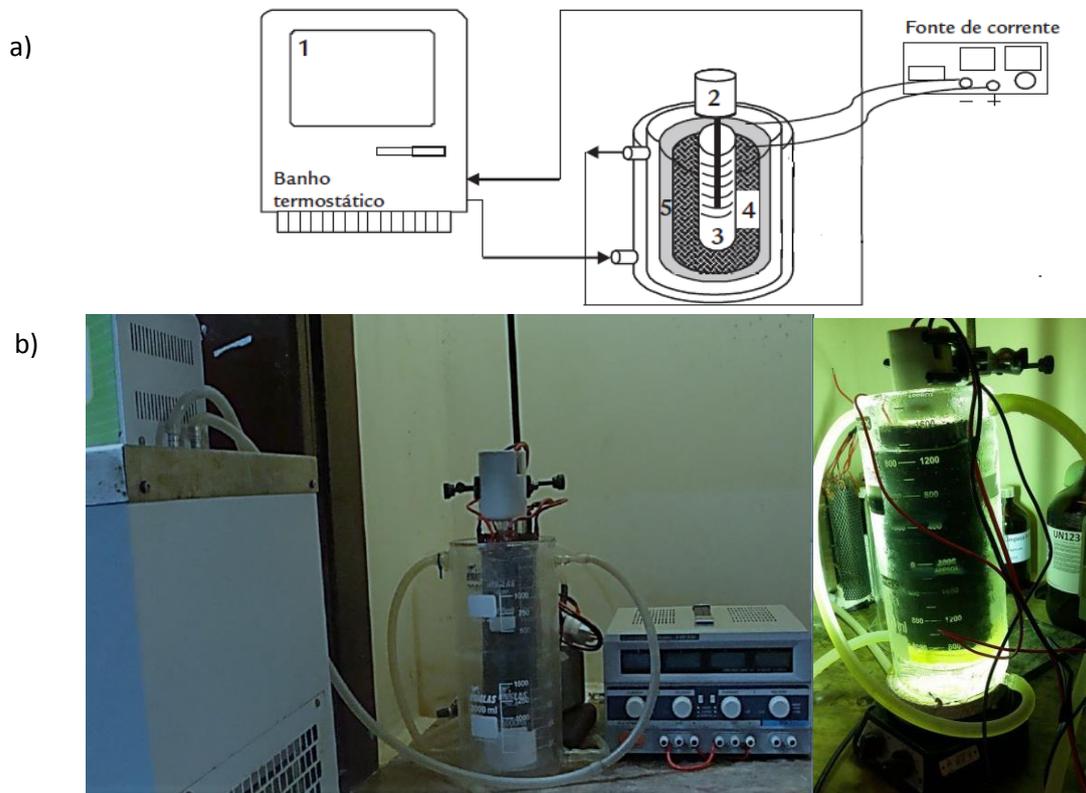
Figura 2 – (a) Representação da célula de eletrodialise de cinco compartimentos. (b) Foto da montagem do experimento utilizado para o processo de ED.



2.2. O sistema de Fotoeletrooxidação

A FEO foi realizada em reator de vidro borossilicato, com volume de 1,4 L. O reator encamisado, ligado a um banho termostático, possibilita o controle da temperatura do sistema, e uma fonte de corrente foi conectada aos eletrodos, conforme a Figura 3.

Figura 3 – (a) Representação esquemática do sistema de Fotoeletrooxidação: (1) Banho termostático; (2) Lâmpada de vapor de mercúrio 250 W; (3) Tubo de quartzo; (4) Ânodo $Ti/Ru_{0,3}Ti_{0,7}O_2$; (5) Cátodo Ti/TiO_2 . (b) Fotos da montagem do experimento utilizado para o processo de FEO.





O cátodo é de Ti/TiO₂ com área superficial geométrica de 118 cm² e o ânodo, do tipo ADE®, composto por Ti/Ru_{0,3}Ti_{0,7}O₂, com área superficial geométrica de 427,5 cm² colocados de forma concêntrica em torno da lâmpada, permanecendo sob incidência de radiação UV. Foi utilizada uma lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão com potência de 250 W e seu reator, sendo removido o bulbo de vidro e substituído por um tubo de quartzo. Foram realizados testes galvanostáticos, aplicando uma densidade de corrente de 0,7 mA.cm⁻² com base no trabalho de Du et al. (2012), para a degradação de corantes orgânicos.

No ensaio de FEO foi avaliado um tempo de 60 min para realizar o polimento de 1,4 L de esgoto tratado coletado na ETE. Amostras foram coletadas e analisadas a cada quinze minutos de tratamento.

2.3. Análises realizadas

Para as amostras iniciais e tratadas, foram monitorados o pH e a condutividade, a concentração de íons, através de análises de cromatografia iônica (Cromatógrafo Iônico DIONEX ICS-3000) e análise de presença de compostos orgânicos por Espectroscopia de Absorção Molecular (Espectrofotômetro T-80 PG Instruments).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Eficiência da Eletrodiálise no polimento do esgoto tratado

A primeira etapa consistiu em avaliar a eficiência da eletrodiálise como técnica de polimento do esgoto tratado. Os efluentes foram tratados até atingir uma condutividade elétrica similar à da água de abastecimento público, sendo adotado o valor máximo de 200 μS.cm⁻¹, uma vez que o objetivo do tratamento é produzir água com qualidade para reúso. O tempo médio necessário para o tratamento de 2 L de efluente no sistema de ED foi de 11 horas e a condutividade inicial do esgoto, que era 645 μS.cm⁻¹, diminuiu para 184 μS.cm⁻¹, o que possibilitou uma remoção de íons em torno de 70%. Os dados obtidos no monitoramento do ensaio estão indicados na Tabela 1.

Os dados indicam a variação da condutividade das soluções, mostrando que os contaminantes foram transferidos do esgoto (Diluído) para os compartimentos concentrados. Íons metálicos e outros com cargas positivas foram transportados para o compartimento catódico, através da membrana catiônica e os ânions e demais substâncias com carga negativa, para o compartimento anódico.

Tabela 1- Características do sistema Eletrodiálise durante o tratamento de efluentes.

Tempo (h)	Condutividade elétrica (μS.cm ⁻¹)			pH		
	Ânions Conc.	Diluído	Cátions Conc.	Ânions Conc.	Diluído	Cátions Conc.
0	728	645	728	6,78	7,39	6,78
2	817	553	808	7,78	7,74	7,5
4	893	468	903	8,86	7,62	6,45
6	970	371	1002	9,78	7,67	6,34
8	1033	305	1078	10,24	7,62	6,63
10	1146	220	1183	10,53	7,18	6,09
11	1191	184	1228	10,7	6,97	6,12

Os íons H⁺ apresentam grande mobilidade em meio aquoso por possuírem menor raio iônico, permitindo dessa forma uma migração mais rápida. Esta migração dos íons através das membranas, quando



submetidas a um campo elétrico, ocorre pelo mecanismo de Grotthuss (LORRAIN *et al.*, 1996), de acordo com o mecanismo, os prótons migram de uma molécula de água para a outra. Pelo fato destes prótons apresentarem maior mobilidade, ocorrem alterações no pH das soluções de trabalho.

Na Figura 4, é apresentada a diminuição da concentração de íons no efluente durante o tratamento por eletrodialise. Já na avaliação da presença de compostos orgânicos, os espectros obtidos para as soluções iniciais e tratadas estão indicados na Figura 5. Nestes, se verifica que a eletrodialise não remove a matéria orgânica do efluente, pois não há diferença considerável para os espectros do Esgoto inicial e o Diluído (tratado por ED). Assim, conclui-se, que apenas íons foram transportados, e a matéria orgânica permaneceu em solução. Isto também pode indicar que esta matéria orgânica não é eletricamente carregada, ou consiste de moléculas muito grandes, por isso, não foram transportados através das membranas.

Figura 4 – Concentração de íons no efluente durante o processo de ED

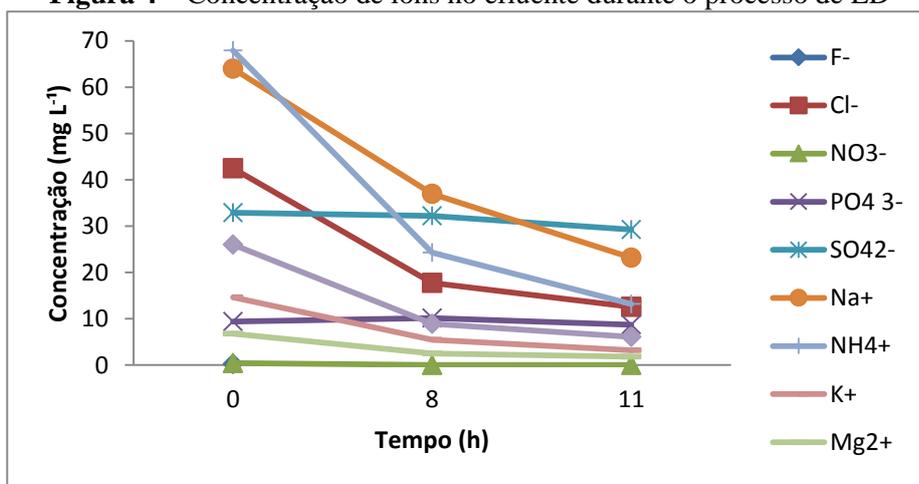
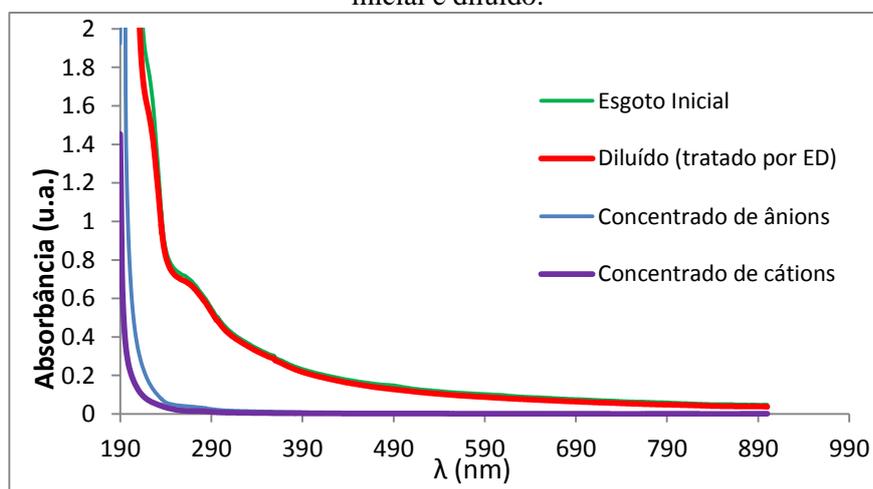


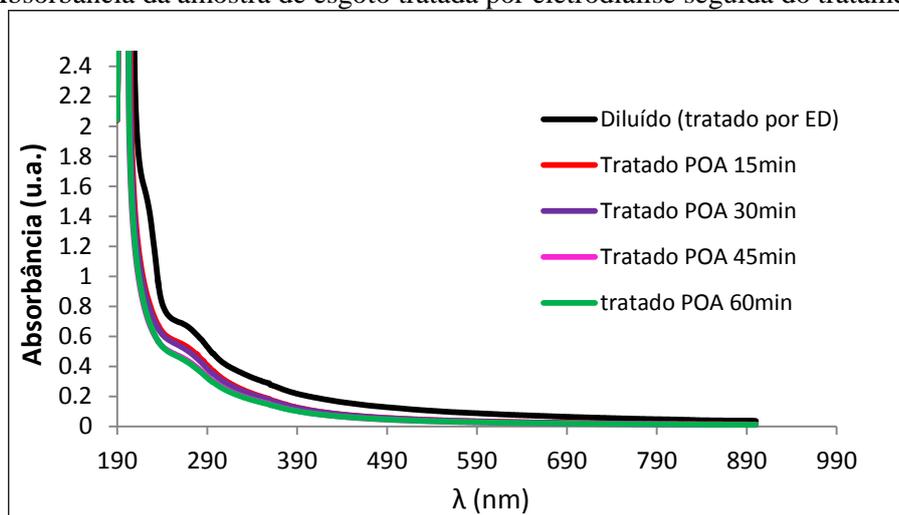
Figura 5- Espectros de absorbância para as soluções brutas e tratadas por ED: concentrados, efluente inicial e diluído.



O tipo de atividade em que a água tratada será reutilizada determina a necessidade de remover a matéria orgânica. Efeitos indesejados associados à presença de substâncias orgânicas incluem o potencial de tornar a água esteticamente desagradável (odor e cor) e de fornecer alimento para microrganismos, afetando a eficiência dos processos de desinfecção e consumindo oxigênio (JIMÉNEZ E ASANO, 2008). Como o objetivo é produzir água para reuso industrial, a remoção da matéria orgânica irá minimizar os riscos de *biofouling* e corrosão microbiológica em reservatórios e tubulações. Por isso, foi avaliada a aplicação de um tratamento adicional após a realização da eletrodialise, para degradação da matéria orgânica.

O esgoto pré-tratado por ED (Diluído) apresenta baixa condutividade, assim, foi necessária a adição de $0,5 \text{ g.L}^{-1}$ de Na_2SO_4 para possibilitar o tratamento por FEO. Durante o tratamento, o efluente apresentou redução gradual na absorbância, principalmente após 15 e 45 minutos, conforme verificado na Figura 6.

Figura 6- Absorbância da amostra de esgoto tratada por eletrodialise seguida do tratamento por FEO.

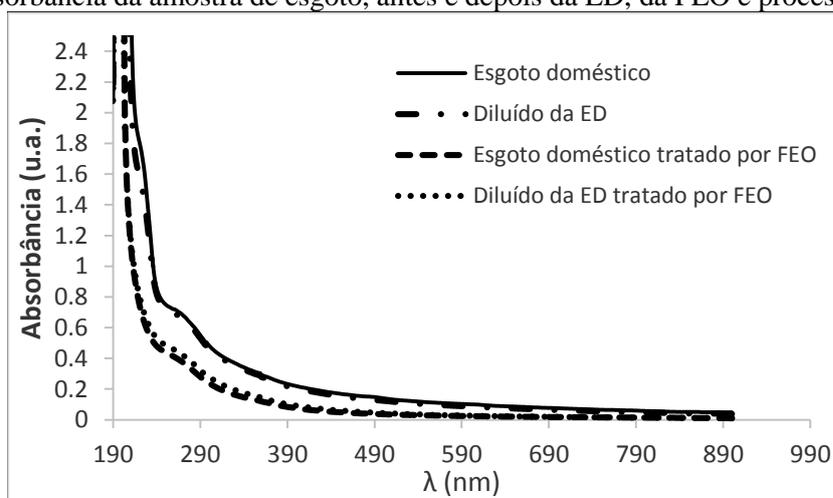


Porém, a mineralização total dos compostos orgânicos não foi atingida. Com o processo de FEO houve uma redução da absorbância no esgoto tratado por ED em aproximadamente 39%.

Confirmada a capacidade da FEO em minimizar a concentração de matéria orgânica no efluente previamente tratado por ED, realizou-se também o tratamento por FEO da amostra de esgoto coletado na ETE.

Novamente, os resultados indicam que, após 15 e 45 minutos, o processo de FEO foi capaz de degradar os compostos orgânicos. No entanto, o tempo de tratamento não foi suficiente para alcançar a mineralização total de compostos orgânicos presentes na amostra de esgoto. Conforme indicado na Figura 7, a absorbância foi reduzida em 47%.

Figura 7 - Absorbância da amostra de esgoto, antes e depois da ED, da FEO e processos combinados.



3.3. O efeito da presença da matéria orgânica no tratamento por eletrodialise

A presença de matéria orgânica pode ser responsável pela ocorrência de *fouling* nas membranas de eletrodialise. Este fenômeno pode reduzir a eficiência do processo, por bloquear sítios ativos da membrana e reduzir a área disponível para transporte de íons.

A partir dos resultados do tratamento oxidativo avançado de FEO para a degradação parcial da matéria orgânica, o esgoto tratado somente por FEO foi adicionalmente tratado por eletrodialise, para a remoção de íons, e verificação da eficiência da ED conforme Tabela 3. O tempo médio necessário para o tratamento no sistema de ED foi de 3 horas até atingir a condutividade de $198 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Salienta-se que, nesse experimento, o volume de esgoto tratado foi de 0,4 L.

Tabela 3 – Monitoramento das soluções durante o processo de Eletrodialise para o esgoto previamente tratado por FEO.

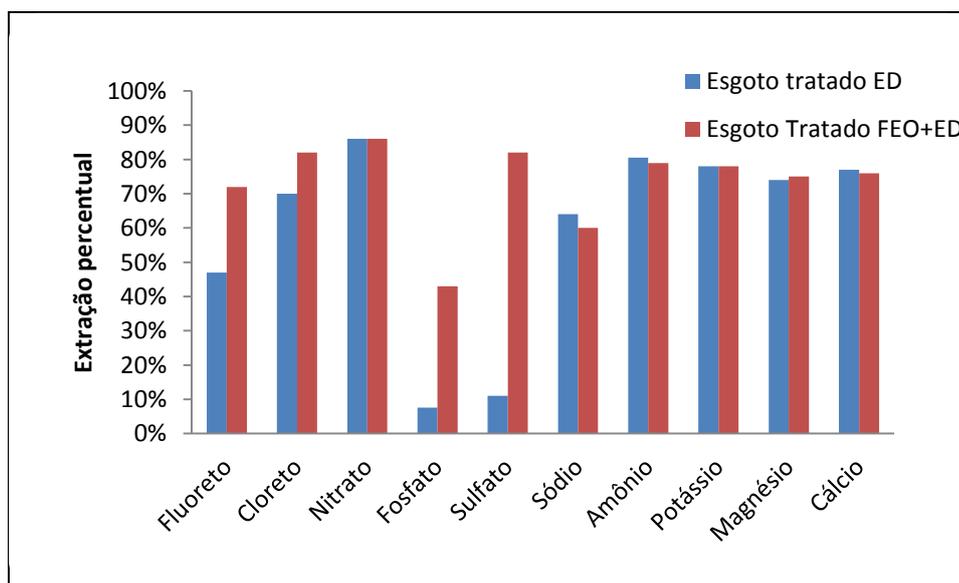
Tempo (h)	Condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)			pH		
	Ânions Conc.	Diluído	Cátions Conc.	Ânions Conc.	Diluído	Cátions Conc.
0	657	617	663	8,05	8,01	8,06
1	840	435	878	8,6	8,09	7,16
2	1010	240	1068	8,85	7,45	7,01
3	1046	198	1132	9,27	7,25	7,39

A extração percentual (EP%) para os íons foi avaliada utilizando a Equação (1), e está indicada na Figura 8.

$$EP\% = [1 - (M_t/M_0)] \cdot 100 \quad (1)$$

Onde M_0 é a massa dos íons na solução inicial, e M_t é a massa dos íons na solução no final do tratamento.

Figura 8 - Extração percentual para os íons avaliados nos efluentes tratados por ED e tratados por FEO seguida da ED.



Além das diferenças entre as propriedades de transporte das membranas catiônicas e aniônicas, a extração percentual obtida para cada íon foi distinta, e pode ser relacionada ao tamanho dos íons. O tamanho do íon comparado ao diâmetro do canal iônico da membrana tem um impacto significativo sobre o transporte iônico (OKADA *et al.*, 1998).

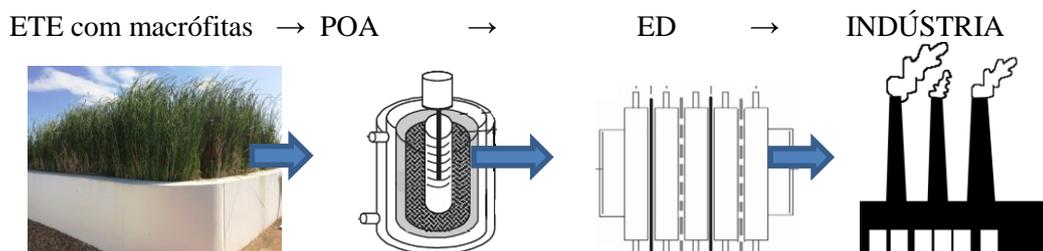
Para o esgoto tratado diretamente por ED, verificou-se uma extração percentual média de 70% para cátions e 40% para ânions. Já para o esgoto tratado por FEO, seguido da ED, verifica-se uma pequena variação em se tratando do transporte de cátions, mantendo a extração média de 70%, porém, atingiu-se uma extração média de 70% para ânions.

O tratamento prévio por FEO permitiu um aumento na extração percentual dos ânions. Isto se deve ao fato de que as moléculas de matéria orgânica podem ocupar sítios ativos na membrana aniônica, causando um bloqueio físico, reduzindo a área útil para o transporte de íons. Como se pode observar, a melhoria na extração obtida para os ânions foi mais pronunciada para os íons sulfato e fosfato. Estes, comparados aos outros ânions analisados, apresentam os maiores raios iônicos. Possivelmente, o transporte do sulfato e fosfato foi mais prejudicado pelo *fouling* causado pela matéria orgânica presente no esgoto, quando comparado ao transporte de ânions menores.

Cátions são transportados através das membranas catiônicas e o *fouling* era esperado principalmente para as membranas aniônicas em função das interações das cargas elétricas, uma vez que moléculas orgânicas tendem a ter cargas elétricas negativas. Assim, a presença de matéria orgânica não afetou o transporte iônico para cátions, quando são comparados os efluentes tratados unicamente por ED ou por FEO seguida de ED.

Baseados nestes resultados, uma proposta para a produção de água para usos industriais utilizando os processos de fotoeletrooxidação e eletrodialise no polimento de esgotos domésticos previamente tratados é apresentada na Figura 9.

Figura 9 – Fluxograma sugerido para a produção de água para usos industriais a partir de efluente doméstico.



CONCLUSÕES

Ainda é pequena a parcela dos esgotos domésticos que são devidamente tratados no Brasil. Estas águas residuais, após tratamento adequado, poderiam ser reutilizadas para diferentes usos, porém, o esgoto avaliado, embora tratado, necessitava de tratamento adicional para possibilitar seu emprego em processos industriais, que exigem baixa concentração de íons e matéria orgânica. A técnica de eletrodialise mostrou-se eficiente na remoção de íons, porém, a matéria orgânica do efluente permaneceu na solução tratada. A associação de um processo oxidativo, a fotoeletrooxidação, permitiu a degradação de parte da matéria orgânica. Com a sequência FEO-ED, o transporte de ânions foi melhorado significativamente, indicando que a presença de matéria orgânica do esgoto prejudica a eficiência do tratamento por ED. Embora a degradação da matéria orgânica não tenha sido completa, os parâmetros operacionais dos tratamentos podem ser otimizados. Os processos avaliados podem ser empregados com resultados satisfatórios para a produção de água de reuso a partir de esgoto doméstico.

Agradecimentos

Os autores agradecem às instituições de fomento: CAPES, CNPq, FAPERGS, FINEP, SIC.



REFERÊNCIAS

COMNINELLIS, C.H.; SCHALLER, V.; SIMOND, O. Theoretical model for anodic oxidation of organics on metal oxide electrodes. **Electrochimica Acta**, v.42, p. 2009-2012, 1997.

COSTA, D.T.; GEHLEN, G.; HAMERSKI, F.; RODRIGUES, M.A.S.; DROSTE, A. Eficiência de *Typha domingensis pers.* em flutuação na remoção e acumulação de metais oriundos de efluente doméstico. 2° Simpósio Brasileiro sobre Wetlands Construídos. Curitiba, 2015, p.9

DANTAS, F. V. A.; LEONETI, A. B.; OLIVEIRA, S. V. W. B.; OLIVEIRA, M. M. B. Uma análise da situação do saneamento no Brasil. **FACEF Pesquisa: Desenvolvimento e Gestão**, v. 15, n. 3, p. 272-284, 2012.

DU, L.; WU, J.; HU, C. Electrochemical oxidation of Rhodamine B on RuO₂-PdO-TiO₂/Ti electrode. **Electrochem. Acta** 68 (2012) 69-73.

GOLIMOWSKA, K.; GOLIMOWSKI, J. UV-photooxidation as pretreatment step in organic analysis of environmental samples. **Analytica Chimica Acta**, n. 325, p. 111-113, 1996

GOODMAN, N. B.; TAYLOR, R. J.; XIE, Z.; GOZUKARA, Y.; CLEMENTS, A. A feasibility study of municipal wastewater desalination using electro dialysis reversal to provide recycled water for horticultural irrigation. **Desalination**, 317 (2013), pp. 77-83

JIMÉNEZ, B.; ASANO, T. **Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs**. IWA Publishing, 2008. v. 20. 628 p.

KANG, S.F.; CHEN, H.W.; WANG, G.S. Catalized UV oxidation of organic pollutants in biological treated wastewater effluents. **The Science of the Total Environment**, n. 277, p. 87-94, 2001.

LORRAIN, Y.; POURCELLY, G.; GAVACH, C. Influence of cátions on the próton leakage through anion-exchange membranes. **Journal of Membrane Science** 110, p. 181-190, 1996.

OKADA, T.; XIE, G.; GORSETH, O.; KIELSTRUP, S.; AKAMURA, N.; ARIMURA, T. Ion and water transport characteristics of Nafion membranes as electrolytes, **Electrochimica Acta**, 43 (1998) 3741-3747.

OLIVEIRA, D.M.; LEÃO, M.M.D. Avaliação da Biodegradabilidade de efluentes têxteis do beneficiamento secundário de malhas de poliéster tratados com reagente de Fenton. **Química Nova**, v.32, n.9, p. 2282-2286, 2009.

OLLER, I.; MALATO, S.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J.A. Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination — A review. **Science of The Total Environment**, 2010.

QUEGE, K. E. Tratamento de esgoto sanitário pelo sistema zona de raízes utilizando plantas de bambu. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Goiás (UFG), Escola de Engenharia Civil, Goiás-GO, 2011.

RAO, P.G.; ARUNAGIRI, A.; BALAKRISHNAN, P. A. Ozone generation by silent electric discharge and its application in tertiary treatment of tannery effluent. **Journal of Electrostatics**, n. 56, p. 77-86, 2002.

RODRIGUES, M.A.S.; AMADO, F.D.R.; XAVIER, J.L.N.; STREIT, K.F.; BERNARDES, A.M.; FERREIRA, J.Z. Application of photoelectrochemical-electrodialysis treatment for the recovery and reuse of water from tannery effluents. **Journal of Cleaner Production**, v.16, n.5, p.605-611, 2008.