

## II-076 - AVALIAÇÃO DA ELETRODIÁLISE EM UM EFLUENTE UNIVERSITÁRIO VISANDO O REÚSO

**Louidi Lauer Alborno** <sup>(1)</sup>

Engenheiro Químico pela Escola de Engenharia (EE/UFRGS), Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais da UFRGS (PPGE3M/UFRGS). Doutorando em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais da UFRGS (PPGE3M/UFRGS).

**Andréa Moura Bernardes** <sup>(2)</sup>

Engenheira Química pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais da UFRGS (PPGE3M/UFRGS), Doutora em Engenharia de Materiais - Technische Universität Berlin-Alemanha.

**Endereço** <sup>(1)(2)</sup>: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Departamento de Materiais. LACOR - Campus do Vale -Setor IV - Prédio 74 - Av. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, 91501-970 - Porto Alegre, RS – Brasil – e-mail: [louidi.lauer@ufrgs.br](mailto:louidi.lauer@ufrgs.br)

### RESUMO

A Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), na criação de seu novo Campus no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, implementou o sistema de tratamento de seus efluentes em uma estação de tratamento de efluentes compacta (ETE). Tal efluente gerado e tratado no Campus Litoral Norte não atende os padrões de lançamento exigidos pelas legislações ambientais vigentes principalmente para compostos nitrogenados como, por exemplo, nitrogênio total Kjeldahl e amônia, conforme ALBORNOZ et al (2016). Portanto, a aplicação do processo de eletrodiálise no efluente final da ETE tem como objetivo o reúso de água no local, economizando o custo de um novo tratamento para atingir os padrões de lançamento exigidos. As alternativas de reúso avaliadas foram o uso agrícola, urbano e na piscicultura devido à disponibilidade do local em receber tais alternativas.

A eletrodiálise foi realizada na planta-piloto Tecnoimpianti TI-1624 em que a célula de eletrodiálise utilizada possuía 5 pares de membranas IONAC<sup>®</sup> MC-3470 (membrana catiônica) e IONAC<sup>®</sup> MA-3475 (membrana aniônica) com área efetiva de 172 cm<sup>2</sup>/membrana. Foram coletadas 4 amostras de semanas diferentes para a realização da eletrodiálise com objetivo de avaliar o transporte iônico obtido com a máxima remoção de cada íon e, por consequência, a menor concentração que pode ser alcançada através da eletrodiálise do efluente. Foi também realizada a caracterização físico-química do efluente para avaliar a sua qualidade após a eletrodiálise.

A remoção de íons atingida foi superior a 90% para diversos ânions e cátions e concentrações abaixo de 4 mg/L e 2 mg/L para ânions e cátions, respectivamente, foram encontradas. A caracterização física e química do efluente mostrou que os parâmetros NTK e amônia apresentaram valores de concentração média inferiores a 1 mg/L, o que possibilitaria o lançamento do efluente na natureza após correção do pH. Já o estudo do reúso do efluente após o processo de eletrodiálise mostra que, se for realizada a correção do pH do efluente, o mesmo poderá ser reutilizado nas 3 diferentes aplicações avaliadas, não havendo assim a necessidade de lançamento na natureza.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eletrodiálise, efluente, reúso.

### INTRODUÇÃO

A questão do saneamento ambiental não está relacionada apenas com o tratamento de efluentes, mas com toda uma cadeia de conscientização. Pesquisas de novas tecnologias e processos são de extrema importância, contribuindo para uma melhor relação do homem com o meio ambiente. O conhecimento dos recursos hídricos disponíveis no Brasil, seus principais usos, identificação dos parâmetros de maior importância que devem ser monitorados, tanto para água quanto para efluentes, a interpretação destes parâmetros em situações específicas, o conhecimento dos processos de remoção dos poluentes em estações de tratamento e as legislações vigentes e, por fim, o destino final destes produtos tratados, são pontos que devem ser avaliados para um bom gerenciamento destes recursos.

A eletrodiálise é uma técnica eletroquímica que promove a remoção de íons poluentes de soluções aquosas através da aplicação de uma diferença de potencial entre dois eletrodos, ocorrendo assim a transferência de íons, no interior de membranas íon seletivas, produzindo uma solução que ao longo do processo irá se tornando cada vez mais diluída, e que pode ser reutilizada em outros processos que exijam uma solução com baixa concentração de íons, e a produção de uma solução cada vez mais concentrada que pode ser enviada novamente para o processo de origem, servindo como uma nova corrente concentrada de matéria-prima. A eletrodiálise surge como uma alternativa interessante em efluentes domésticos que já foram previamente tratados por processos de tratamentos convencionais, quando a maior parte da matéria orgânica já foi convertida em matéria inorgânica que pode ser removida através da eletrodiálise.

A utilização do processo de eletrodiálise na recuperação de água e compostos que possam ser reutilizados no próprio processo possui diversos trabalhos publicados (Benvenuti et al., 2014; Buzzi et al., 2013; Martí-Calatayud et al., 2014; Rodrigues et al., 2008).

O reúso promove um aproveitamento dos efluentes em novas finalidades que podem gerar um retorno financeiro como o aproveitamento dos nutrientes presentes para a piscicultura (SANTOS, 2011), hidroponia (GONÇALVES, 2003, ALVES et al., 2014) ou diretamente na agricultura como aporte de água e/ou de nutrientes (BASTOS, VON SPERLING, 2009; ALVARENGA et al., 2015). O reúso dos efluentes domésticos tratados para a descarga de toaletes, irrigação de campos de esporte, limpeza de ruas, combate a incêndios e lavagens de veículos são alternativas interessantes que não exigem um nível de tratamento de efluentes muito elevado (AISSE, BASTOS, FLORENCIO, 2006).

Entretanto, o Brasil ainda carece de resoluções e normas informando os limites de concentração para o aproveitamento de efluentes sanitários tratados visando o reúso. Considerando os resultados obtidos pelos autores mencionados acima, tanto na área da eletrodiálise como na área de reúso, este trabalho avaliará a recuperação de água por eletrodiálise visando o reúso a partir de um efluente doméstico tratado por processos convencionais.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES**

A estação de tratamento de efluentes (ETE) está localizada na cidade de Tramandaí, com coordenadas 29°58'25.3"S 50°13'38.5"W, no Estado do Rio Grande do Sul no sul do Brasil, mostrado na Figura 1. A ETE foi projetada pela empresa FIBRATEC™ Engenharia com base nas normativas ambientais estabelecidas pela Resolução N° 430, de 2011 (CONAMA, 2011), que estabelece os padrões de lançamento de efluentes tratados na natureza, nas normas ABNT NBR 12209, para elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de efluentes sanitários (ABNT, 2011), e na norma ABNT NBR 13969, para o projeto de tanques sépticos de desinfecção do efluente final (ABNT, 1997).



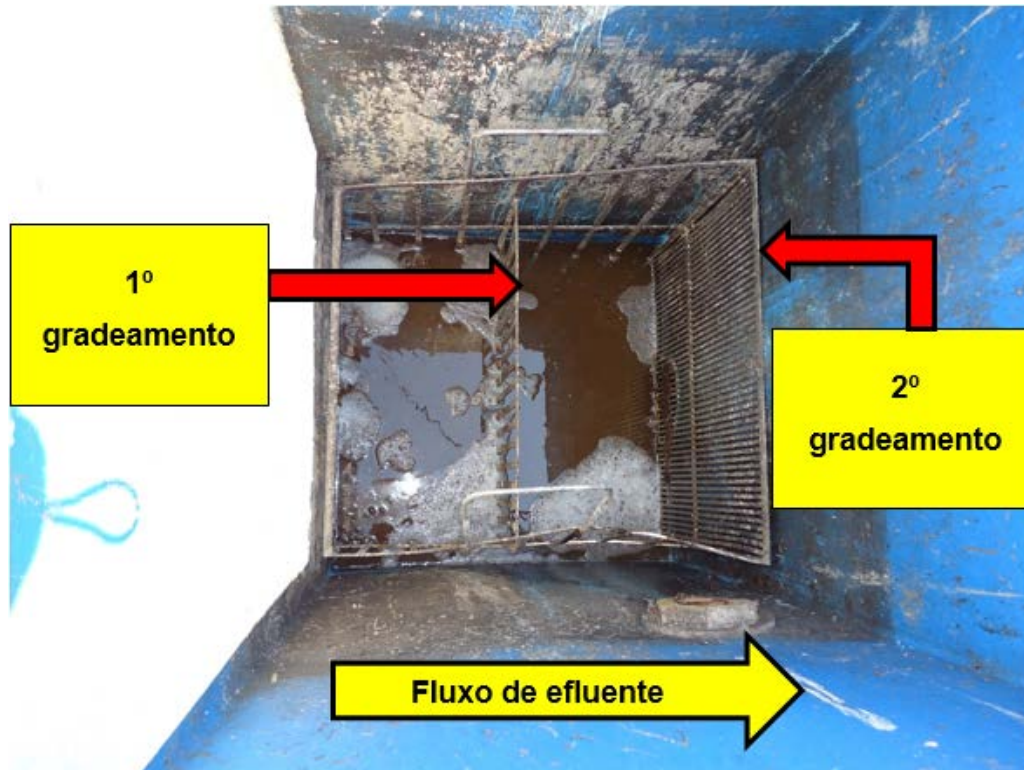
**Figura 1: Localização da Estação de Tratamento de Efluentes do Campus Litoral Norte da UFRGS mostrando a exata localização da mesma no Estado do Rio Grande do Sul.**

Uma fotografia da estação de tratamento é apresentada na Figura 2, onde podem ser visualizados a estação compacta onde, bem à frente, se encontra o tanque de desinfecção; atrás do tanque de desinfecção, observa-se o reator de aeração e o decantador secundário; mais ao fundo, observa-se o tanque de adensamento de lodo.



**Figura 2: Fotografia da ETE do Campus Litoral Norte da UFRGS mostrando algumas etapas do tratamento que o efluente recebe.**

O tratamento preliminar é feito através do gradeamento do efluente, conforme Figura 3. O sistema de tratamento secundário utilizado na ETE é caracterizado como um sistema de tratamento contínuo através do tratamento biológico por lodo ativado com aeração prolongada onde o processo de aeração é promovido por um aerador de 3,73 kW localizado na parte inferior do tanque de aeração.



**Figura 3: Sistema de gradeamento da ETE Litoral Norte, mostrando os dois diferentes tipos de espaçamento entre as grades utilizadas no processo.**

Para a separação do efluente tratado é utilizado um decantador secundário, tipo Dortmund. O lodo separado pode retornar ao sistema através de uma bomba de recirculação pela válvula lateral inferior do tanque de aeração ou ser enviado ao tanque de adensamento de lodo. O efluente tratado é retirado do sistema através da válvula na parte superior da lateral do decantador secundário por ação da gravidade, sendo então enviado ao tanque de desinfecção. A adição de hipoclorito de sódio 10 % (m/m) ocorre através de uma bomba dosadora que mantém a concentração de cloro entre 6 a 8 mg/L. O tanque de desinfecção possui chicanas em seu interior com o intuito de aumentar o tempo de contato do efluente com o hipoclorito de sódio, conforme mostrado na Figura 4.

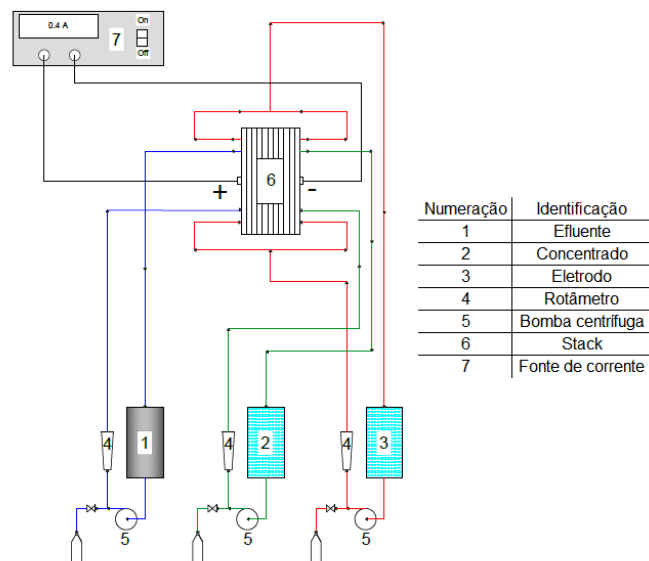


**Figura 4: Sistema de desinfecção da ETE Litoral Norte, mostrando as chicanas para aumentar o tempo de residência do efluente.**

Após a desinfecção, o efluente é enviado ao reservatório de efluente tratado para ser devolvido ao meio ambiente, através de uma tubulação presente após a etapa de desinfecção, caso possua as especificações adequadas para tal, ou então enviado à ETE da Companhia Rio Grandense de Saneamento (CORSAN) para realizar o tratamento necessário.

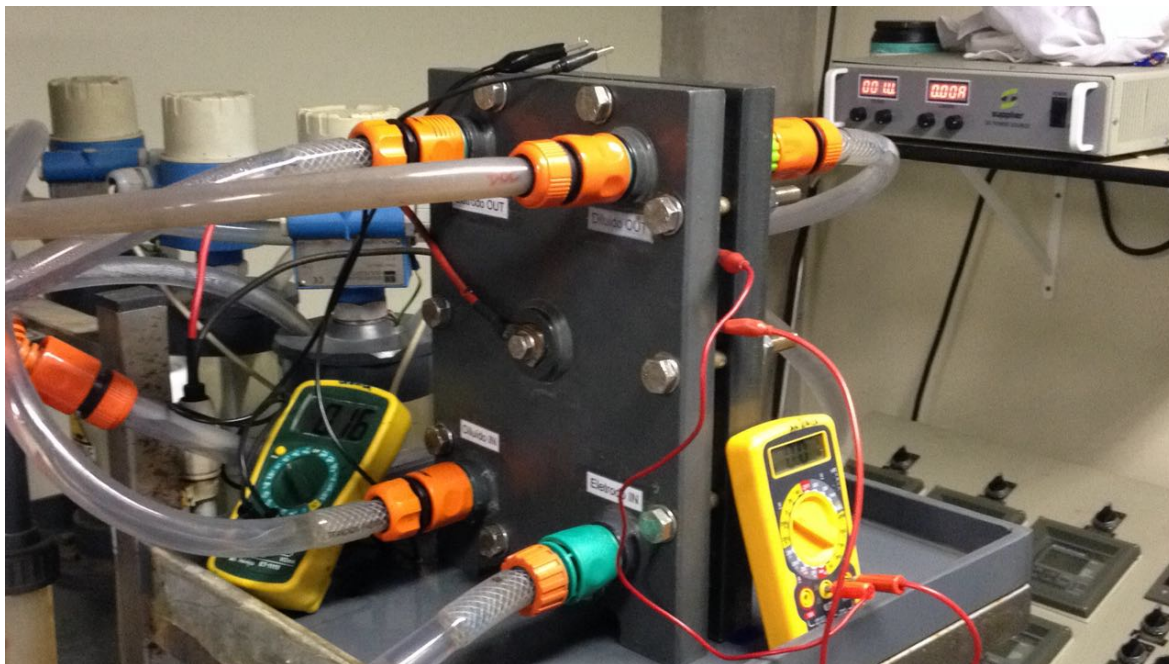
## ELETRDIÁLISE

A eletrodialise foi realizada na planta-piloto Tecnoimpianti TI-1624 do Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais (LACOR), conforme esquema apresentado na Figura 5. Foram monitorados durante o processo a condutividade elétrica e o pH dos três compartimentos. As membranas utilizadas foram a IONAC<sup>®</sup> MC-3470 (membrana catiônica) e IONAC<sup>®</sup> MA-3475 (membrana aniônica) fabricadas pela empresa Sybron. Cada membrana possuía uma área efetiva de 172 cm<sup>2</sup>. Foram utilizados na montagem do sistema de tratamento 5 pares de membranas. Cada ensaio de eletrodialise foi realizado em triplicata. O volume tratado de efluente em cada ensaio foi de 2,5 L.



**Figura 5: Esquema da planta piloto com as respectivas identificações.**

As correntes limites para cada efluente foram determinadas através da construção da curva de corrente voltagem realizadas na planta piloto, através da medição do potencial entre dois fios de platina posicionados dos dois lados da membrana (Figura 6). Os valores de corrente utilizados no trabalho foram: Efluente 1 – 350 mA; efluente 2 – 310 mA; efluente 3 – 220 mA; e efluente 4 – 290 mA, correspondendo a 80% da corrente limite determinada. O experimento foi realizado até a fonte de tensão atingir uma voltagem de 120V, que é o valor máximo de voltagem permitido pela fonte de corrente



**Figura 6:** Célula de eletrodialise utilizada no ensaio de CVC para determinar a corrente limite. Na imagem também são vistos os multímetros, para a medida do potencial de membrana, ligados aos fios de platina inseridos na célula.

## COLETAS

Foram realizadas 4 coletas do efluente tratado da ETE, ou seja, o efluente que sofreu todos os processos de tratamento descritos no tópico ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES. Os efluentes foram filtrados com filtro qualitativo com tamanho de poro de 3  $\mu\text{m}$ , para a remoção dos sólidos que poderiam causar impedimento físico nas membranas, afetando assim o resultado de remoção de poluentes por eletrodialise, e também para evitar problemas nas bombas centrifugas utilizadas no sistema.

## CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

Foi realizada a caracterização físico-química das amostras coletadas na ETE e das amostras após o ensaio de eletrodialise. Cabe salientar que a caracterização do efluente após a eletrodialise foi realizada apenas no efluente 4. As análises para caracterização físico-química foram realizadas conforme metodologias específicas do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22ª edição. Os parâmetros analisados foram: Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Cor, Turbidez, Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Fixos (STF), Sólidos Totais Voláteis (STV), Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Fixos (SSF), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Sólidos Dissolvidos Fixos (SDF), Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV), Alcalinidade Total (Alcalinidade), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Amônia ( $\text{NH}_3$ ) e Fósforo Total (PT). Cada análise foi realizada em triplicata no Laboratório de Desenvolvimento de Tecnologias (LADETEC).

Para avaliar a concentração dos íons no efluente antes e depois da eletrodialise foi realizada a análise por cromatografia iônica dos ânions Fluoreto ( $\text{F}^-$ ), Cloreto ( $\text{Cl}^-$ ), Nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), Nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), Fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) e

Sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) e dos cátions Sódio ( $\text{Na}^+$ ), Amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), Potássio ( $\text{K}^+$ ), Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) com o cromatógrafo iônico Dionex modelo ICS 3000 localizado no LACOR/UFRGS. Cada análise foi realizada em triplicata.

## REÚSO DE ÁGUA

Os padrões recomendados para o reúso estão apresentados Tabela 1. Tais alternativas foram escolhidas neste trabalho, pois os 3 reúsos podem ser aplicados no Campus Litoral Norte devido a sua grande extensão territorial, interessante para o uso na piscicultura e agrícola, quanto pela sua recente construção, o que é interessante do ponto de vista de engenharia, já que as suas tubulações hidrossanitárias possuem projetos e execuções catalogadas, facilitando assim as adequações necessárias para o uso urbano.

**Tabela 1: Principais parâmetros de qualidade recomendados para o reúso de efluentes tratados para fins agrícolas, urbanos e na piscicultura.**

Parâmetro	Unidade	Uso agrícola		Uso para fins urbanos			Uso piscicultura	
		Irrestrito	Restrito	Irrestrito	Restrito	Predial	Afluente	No tanque
Turbidez	UTN	$\leq 5$	$\leq 5$	$\leq 5$	$\leq 5$	$\leq 5$	ND	ND
NTK	mg $\text{NH}_4^+$ - N/L	< 5	< 5	ND	ND	ND	ND	ND
Nitrato	mg $\text{NO}_3^-$ - N/L	30	30	< 20	< 20	< 20	< 5	< 5
Amônia	mg $\text{NH}_4^+$ - N/L	ND	ND	ND	ND	ND	$\leq 2,5$	$\leq 2,5$
pH	Faixa	6,5-9,0	6,5-9,0	6-8	6-8	6-8	6,5-9,5	6,5-9,5
SDT	mg/L	< 450	450 < SDT < 2000	<200	<200	<200	ND	ND
OD	mg $\text{O}_2$ /L	> 2,0	> 2,0	ND	ND	ND	> 3,0	> 3,0
CE	mS/cm	< 0,7	0,7 < CE < 3,0	ND	ND	ND	ND	ND
DBO	mg $\text{O}_2$ /L	< 10	< 30	< 10	< 30	< 30	200 - 300	200
Fluoreto	mg F/L	<1	<1	ND	ND	ND	ND	ND

Onde: ND – Não disponível

Fonte: adaptado de AISSE, BASTOS, FLORENCIO (2006), MACHADO (2006) MARA (2012) e ABNT (1997).

## RESULTADOS

### ELETRODIÁLISE

Na Tabela 2 estão mostrados os resultados de concentração do efluente de cada coleta, chamado inicial, e a concentração do efluente após a eletrodialise, chamado final, e o desvio padrão dos ânions analisados no trabalho.

**Tabela 2: Resultados de concentração média e desvio padrão para cada ânion antes e depois da eletrodialise para o tratamento do efluente das 4 coletas.**

Coleta	Concentração (mg/L)	Ânion					
		Fluoreto	Cloreto	Nitrito	Nitrato	Fosfato	Sulfato
1	Inicial	0,57 ± 0,16	38,41 ± 1,97	8,84 ± 2,82	56,24 ± 2,21	10,36 ± 0,61	29,30 ± 2,63
	Final	0,02 ± 0,00	0,14 ± 0,10	0,05 ± 0,00	0,25 ± 0,15	0,97 ± 0,16	0,71 ± 0,13
2	Inicial	0,53 ± 0,03	62,04 ± 0,07	1,75 ± 0,71	77,82 ± 4,91	18,90 ± 0,83	89,98 ± 43,23
	Final	0,07 ± 0,01	0,92 ± 0,50	0,05 ± 0,00	0,55 ± 0,10	3,20 ± 0,22	2,57 ± 1,30
3	Inicial	1,69 ± 0,16	41,25 ± 1,86	0,69 ± 0,50	73,43 ± 4,41	18,59 ± 1,43	30,23 ± 5,43
	Final	0,07 ± 0,01	0,27 ± 0,12	0,05 ± 0,00	0,13 ± 0,05	0,90 ± 0,54	0,80 ± 0,31
4	Inicial	0,39 ± 0,02	137,44 ± 52,33	3,96 ± 0,26	131,80 ± 1,95	16,65 ± 0,26	45,64 ± 12,39
	Final	0,03 ± 0,01	0,68 ± 0,26	0,05 ± 0,00	0,42 ± 0,13	1,91 ± 0,96	2,60 ± 1,54

Concentrações inferiores a 4 mg/L foram encontradas após a eletrodialise para compostos que, em elevadas concentrações, ocasionam a eutrofização de corpos hídricos receptores como, por exemplo, fosfato, nitrito e nitrato (MISHIMA *et al.*, 2016). A concentração de nitrato deve ser baixa, pois em elevadas concentrações em águas pode ocasionar a doença chamada Meta-hemoglobinemia, principalmente em crianças (FAN; STEINBERG, 1996).

Os valores de concentrações finais dos ânions fosfato e sulfato apresentaram valores mais elevados, principalmente para os efluentes das coletas 2 e 4. A explicação para este acontecimento deve-se ao fato de que membranas íon seletivas possuem diferentes forças de afinidade para diferentes íons (BERNARDES; RODRIGUES; FERREIRA, 2013).

Na Tabela 3 estão mostrados os resultados de concentração do efluente de cada coleta, chamado inicial, e a concentração do efluente após a eletrodialise, chamado final, e o desvio padrão dos cátions analisados no trabalho para as 4 coletas.



**Tabela 3: Resultados de concentração média e desvio padrão para cada cátion antes e depois da eletrodialise para o tratamento do efluente das 4 coletas.**

Coleta	Concentração (mg/L)	Cátions				
		Sódio	Amônio	Potássio	Magnésio	Cálcio
1	Inicial	64,19 ± 6,59	44,44 ± 4,29	14,32 ± 2,07	1,31 ± 0,29	16,08 ± 4,86
	Final	1,12 ± 0,83	0,06 ± 0,00	0,04 ± 0,00	0,02 ± 0,00	0,98 ± 0,02
2	Inicial	144,19 ± 71,12	4,51 ± 3,44	16,27 ± 0,10	1,95 ± 0,88	7,72 ± 3,53
	Final	1,93 ± 1,54	0,17 ± 0,09	0,35 ± 0,07	0,19 ± 0,17	0,99 ± 0,21
3	Inicial	46,95 ± 5,90	12,58 ± 0,54	12,55 ± 0,73	0,55 ± 0,71	6,66 ± 1,20
	Final	0,17 ± 0,05	0,06 ± 0,00	0,33 ± 0,05	0,13 ± 0,15	0,90 ± 0,58
4	Inicial	96,26 ± 4,59	33,71 ± 0,27	68,08 ± 52,34	5,69 ± 0,13	21,62 ± 0,43
	Final	0,29 ± 0,06	0,62 ± 0,09	0,42 ± 0,25	0,31 ± 0,19	1,05 ± 0,11

Concentrações abaixo de 2 mg/L foram encontradas para os cátions. Para avaliar a remoção global de poluentes do efluente final da ETE foi realizada a caracterização físico-química anterior e posterior ao processo de eletrodialise conforme a metodologia apresentada no item CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA. O efluente utilizado para esse experimento foi o efluente 4 e na Tabela 4 estão apresentados os resultados de concentração média inicial, chamado de inicial, e após a eletrodialise, chamado de final, do efluente e os respectivos desvios padrão.

**Tabela 4: Concentração média inicial e final e remoção, em %, com respectivos desvios padrão do efluente antes e depois da eletrodialise.**

Análise	Unidade	Concentração (mg/L)		Remoção (%)
		Inicial	Final	
pH	-	6,73 ± 0,12	5,42 ± 0,09	-
Cor	mg/L Pt.Co	84,8 ± 3,1	21,2 ± 4,6	75,0 ± 5,4
Turbidez	UTN	8,37 ± 0,09	4,13 ± 0,27	50,7 ± 3,2
CE	µS/cm	806,3 ± 23	8,0 ± 2,4	99,0 ± 0,3
DQO	mg/L O <sub>2</sub>	46,8 ± 2,7	32,0 ± 7,0	31,6 ± 15,0
Alcalinidade	mg/L CaCO <sub>3</sub>	37,8 ± 1,8	9,1 ± 0,5	76,0 ± 1,2
ST	mg/L	538 ± 13	113 ± 20	78,9 ± 3,7
STV	mg/L	396 ± 19	62 ± 24	84,3 ± 6,1
STF	mg/L	142 ± 10	51 ± 4	63,8 ± 2,9
SDT	mg/L	530 ± 16	108 ± 20	79,6 ± 3,7
SDF	mg/L	140 ± 15	50 ± 3	64,0 ± 2,4
SDV	mg/L	390 ± 9	58 ± 23	85,2 ± 5,9
NTK	mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	27,1 ± 2,0	1,0 ± 0,0	96,3 ± 0,0
NH <sub>3</sub>	mg/L NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	22,3 ± 1,5	1,0 ± 0,0	95,5 ± 0,0
F <sup>-</sup>	mg/L F <sup>-</sup>	0,5 ± 0,02	0,02 ± 0,01	96,72 ± 1,91
PT	mg/L PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> - P	3,90 ± 1,00	0,50 ± 0,00	87,18 ± 0,00

Os resultados apresentados na Tabela 4 demonstram que o processo de eletrodialise para a remoção de poluentes ocorre de forma bem acentuada para os compostos que apresentam características iônicas como, por exemplo, sólidos dissolvidos e amônia, o que já era esperado. O pH da solução diminui após a eletrodialise, porém não de forma que possa afetar as membranas e o posterior reúso do efluente. Os valores de NTK e amônia também diminuíram, pois, como visto na Tabela 4, aproximadamente 80% do valor de NTK é composto por amônia. Como em valores abaixo de pH = 6,0 a amônia se apresenta majoritariamente na forma do íon amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (METCALF; EDDY, 2003), o mesmo é conduzido através da membrana catiônica da solução diluída para a solução concentrada.

Observa-se que a remoção percentual de compostos que possuem carga iônica como, por exemplo, fluoreto, amônia, NTK e fósforo total foram superiores a 95%. Outro parâmetro que apresentou resultado satisfatório foi a condutividade elétrica, com valor de remoção percentual de 99%. Os valores de DQO e turbidez não apresentaram um bom resultado de remoção, apenas 31,6% e 50,7% respectivamente, mostrando que estes parâmetros estão possivelmente associados a compostos orgânicos não iônicos. .

O estudo do reúso, do efluente da coleta 4, após o ensaio de eletrodialise, indica que o mesmo pode ser reutilizado nos 3 diferentes usos, agrícola, urbano e na piscicultura, se houver a correção do pH através da adição de uma base como, por exemplo, hidróxido de potássio ou potássio. Na Tabela 5 estão apresentados os valores de concentração encontrados na caracterização físico-química e os valores de concentração recomendados para o reúso para fins de comparação.

Parâmetro	Unidade	Uso agrícola		Uso para fins urbanos			Uso piscicultura		Amostra após ED
		Irrestrito	Restrito	Irrestrito	Restrito	Predial	Afluentes	No tanque	
Turbidez	UTN	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	≤ 5	ND	ND	4,13
NTK	mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N/L	< 5	< 5	ND	ND	ND	ND	ND	1
Nitrato	mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - N/L	< 30	< 30	< 20	< 20	< 20	< 5	< 5	0,04
Amônia	mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N/L	ND	ND	ND	ND	ND	≤ 2,5	≤ 2,5	1
pH	Faixa	6,5-9,0	6,5-9,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,0-8,0	6,5-9,5	6,5-9,5	5,42
SDT	mg/L	< 450	450 < SDT < 2000	<200	<200	<200	ND	ND	108
OD	mg O <sub>2</sub> /L	> 2,0	> 2,0	ND	ND	ND	> 3,0	> 3,0	> 5,0
CE	mS/cm	< 0,7	0,7 < CE < 3,0	ND	ND	ND	ND	ND	0,08
Fluoreto	mg F/L	<1	<1	ND	ND	ND	ND	ND	0,02

Onde: ND – Não disponível / NR – Não realizado

## CONCLUSÕES

A remoção de íons atingida por eletrodialise no tratamento do efluente tratado da ETE mostra que concentrações abaixo de 4 mg/L e 2 mg/L para ânions e cátions, respectivamente, foram encontradas, garantindo um efluente com uma qualidade adequada a reúso.

A caracterização física e química do efluente tratado por eletrodialise mostra que os parâmetros nitrogenados, NTK e amônia, apresentaram valores de concentração abaixo do exigido pelas legislações ambientais vigentes, o que possibilitaria o lançamento do efluente na natureza após correção do pH. Entretanto, se for realizada a correção do pH, o reúso do efluente também pode ser realizado nos 3 diferentes usos, o que garante uma alternativa mais sustentável frente ao lançamento na natureza do efluente tratado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. COSTA, E. R. H. Estudo de Polímeros Naturais como Auxiliares de Floculação com Base no Diagrama de Coagulação do Sulfato de Alumínio. São Carlos. 1992. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 1992.
2. Albornoz, L.L., Bernardes, A.M., Tessaro, I.C., Centurião, T.C., Mendes, C.A.B. Monitoramento, caracterização e avaliação da eficiência de remoção de poluentes em uma estação compacta de tratamento de efluentes. Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Out. 2016.
3. BENVENUTI, T. KRAPP, R.S. RODRIGUES, M.A.S. BERNARDES, A.M. ZOPPAS-FERREIRA, J. Recovery of nickel and water from nickel electroplating wastewater by electrodialysis. Separation And Purification Technology, [s.l.], v. 129, p.106-112, maio 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2014.04.002>.

4. BUZZI, D.C. VIEGAS, L.S. RODRIGUES, M.A.S. BERNARDES, A.M. TENÓRIO, J.A.S. Water recovery from acid mine drainage by electro dialysis. *Minerals Engineering*, [s.l.], v. 40, p.82-89, jan. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2012.08.005>.
5. MARTÍ-CALATAYUD, M. C. BUZZI, D. C. GARCIA-GABALDON, M. ORTEGA, E. BERNARDES, A. M. TENÓRIO, J. A. PEREZ-HERRANZ, V. Sulfuric acid recovery from acid mine drainage by means of electro dialysis. *Desalination*, [s.l.], v. 343, p.120-127, jun. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2013.11.031>.
6. 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*, [s.l.], v. 16, n. 5, p.605-611, mar. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2007.02.002>.
7. SANTOS, E. S. Avaliação da sustentabilidade ambiental do uso do esgoto doméstico tratado na piscicultura. *Revista Engenharia Sanitária Ambiental*, ABES, v.16, n.1, mar. 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522011000100008>
8. GONÇALVES, R. F. Rede cooperativa de pesquisas: Desinfecção de efluentes sanitários, remoção de organismos patogênicos e substâncias nocivas. Aplicações para fins produtivos como agricultura, aquicultura e hidroponia. Vitória: ABES, 2003. 435 p.
9. ALVES, S. M. C. REBOUÇAS, J. R. NETO, M. F. SOUZA, L. D. Fertirrigação de girassol ornamental com esgoto doméstico tratado em sistema de hidroponia. *Brazilian Journal of Irrigation and Drainage*, Botucatu, v. 19, n. 4, p. 714-726, dez. 2014, 13 p. DOI: 10.15809/irriga.2014v19n4p714
10. BASTOS, F. S.; VON SPERLING, M. V. Rede Cooperativa de Pesquisas: Esgotos: Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção. Fortaleza: ABES, 2009. 430 p.
11. ALVARENGA, P. MOURINHA, C. FARTO, M. PALMA, P. SENGO, J. MORAIS, M. C. CUNHA-QUEDA, C. Sewage sludge, compost and others representative organic wastes as agricultural soil amendments: Benefits versus limiting factors. *Waste Management*, v. 40, p. 44-52, fev. 2015. <http://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.01.027>
12. AISSE, M. M., BASTOS, R. K. X., FLORENCIO, L. Rede cooperativa de pesquisas: Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2006, 427 p.
13. ABNT. NBR 12209:2011: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2011.
14. ABNT. NBR 13969:1997: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 1997.
15. APHA/AWA/WEF. Standard Methods for Examination of the Water and Wastewater. 22nd Edition. Washington, 2012.
16. MACHADO, B. C. Avaliação da qualidade dos efluentes das lagoas de estabilização em série da estação de tratamento de esgoto de Samambaia – DF para o cultivo de Tilápia (*Oreochromis nicoticus*). 2006. 143 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
17. MARA, D. Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries. London: Earthscan, 2012. 310 p.
18. FAN, A.M.; STEINBERG, V.E. Health Implications of Nitrate and Nitrite in Drinking Water: An Update on Methemoglobinemia Occurrence and Reproductive and Developmental Toxicity. *Regulatory Toxicology And Pharmacology*, [s.l.], v. 23, n. 1, p.35-43, fev. 1996. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1006/rtph.1996.0006>.
19. MISHIMA, I. YOSHIKAWA, N. YOSHIDA, Y. AMANO, K. Development of an Integrated Environmental Impact Assessment Model for Assessing Nitrogen Emissions from Wastewater Treatment Plants. *Journal of Water and Environment Technology*, v. 14, n. 1, p.6-14, 2016. <http://doi.org/10.2965/jwet.15-052>
20. BERNARDES, A.M.; RODRIGUES, M.A.S.; FERREIRA, J.Z. Electro dialysis and Water Reuse: Novel Approaches. [si]: Springer, 2013. 144 p.
21. BRUGGEN, B. V. D, KONINCKX, A. VANDECASTEELE, A. Separation of monovalent and divalent ions from aqueous solution by electro dialysis and nanofiltration. *Water Research*, v. 38, n. 5, p.1347-1353, mar. 2004. <http://doi.org/10.1016/j.watres.2003.11.008>
22. METCALF e EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2003.