1543 - REMOÇÃO DE NÍQUEL DE ÁGUAS CONTAMINADAS PELA APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE ELETRODIÁLISE.

Matheus Viriato Evangelista[(1)]
Graduando em Engenharia Química na Universidade Federal de Uberlândia.
Giovanna Zanetti Donegá[(2)]
Graduanda em Engenharia Química na Universidade Federal de Uberlândia.
Laís Ribeiro Pampanini[(3)]
Graduanda em Engenharia Química na Universidade Federal de Uberlândia.
Mayara Teixeira da Silva[(4)]
Engenheira Química pela Universidade Federal de Alagoas. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia. Doutoranda em Engenharia Química na Universidade Federal de Uberlândia.
Miriam Maria de Resende [(5)]
Engenheira Química pela Universidade Federal de Uberlândia. Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos. Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de São Carlos. Professora de Engenharia Química na Universidade Federal de Uberlândia.

Endereço[(1)]**:** Av. João Naves de Ávila, 2121 - Santa Mônica - Uberlândia – MG – CEP: 38.400-902 – Brasil – matheus.evangelista@ufu.br.

RESUMO

O descarte inadequado de resíduos industriais e a deposição aérea de contaminantes podem levar a níveis elevados de Ni no solo e nos sistemas hídricos. Quantidades de Ni acima do limite permitido no solo e na água podem causar toxicidade a todos os organismos vivos, sendo manifestada em humanos sob a forma de alergia, câncer, redução da função pulmonar, entre outras. Devido à sua baixa degradação no meio ambiente foram aplicadas várias técnicas para seu tratamento, tais como lavagem do solo, adsorção, redução, fotodegradação e remediação microbiana. No entanto, não se observaram muitos trabalhos aplicando a técnica de eletrodiálise para a sua remoção, essa técnica é um tipo de processo de separação por membranas, nela os íons presentes no efluente são transferidos para uma solução concentrada por diferença de potencial elétrico. Neste trabalho foi utilizada uma solução sintética de efluente com 100 ppm de Ni, sob uma vazão de 40 L/h durante 5h em uma célula eletrolítica com 10 pares de membranas. A condição ótima de operação encontrada foi de 18,72 V e 0,08 A, tendo uma remoção de 96%.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos, Remoção de metais, Toxicidade, Eletrodiálise.

INTRODUÇÃO

A contaminação da água por compostos metálicos é um problema ambiental mundial. As concentrações de metais estão amplamente relacionadas a valores bioquímicos que são utilizados no diagnóstico de doenças devido à toxicidade ambiental. Metais pesados, como níquel e cádmio usados como produtos industriais, chegam a córregos e rios por meio do escoamento de resíduos não regulamentados. A taxa de urbanização também sofreu um rápido aumento, incluindo um aumento na descarga de águas residuais e um aumento na exposição a metais (GUNTHER, 1999).

Níquel é um metal de ampla distribuição no meio ambiente e é frequentemente usado em muitos produtos industriais e comerciais, como galvanoplastia, equipamentos eletrônicos, pesticidas e herbicidas (Cempel e Nikel, 2005). A presença de quantidades excessivas de Ni acima do limite permitido no solo (30 mg kg^{-1}) e na água (0,02 mg L^{-1}) causa toxicidade a todos os organismos vivos (Ronaldo et al., 2006). Embora o Ni seja um micronutriente essencial para plantas com concentrações < 10 mg kg^{-1} de biomassa vegetal, uma alta taxa de ingestão de Ni pode causar sérios danos à saúde humana, como causar alergia, câncer e redução da função pulmonar (Zambelli et al., 2016).

Como uma técnica de separação moderna, a eletrodiálise tem sido amplamente utilizada nas áreas de purificação de soluções biológicas, desmineralização de misturas de alimentação e tratamento de águas residuais (Moura et al., 2014). A eletrodiálise tem várias vantagens sobre a precipitação seletiva convencional e a extração por solvente, como produção mínima de resíduos, baixo gasto de energia e menor consumo de produtos químicos (Chan et al., 2022). A eletrodiálise é um processo de separação na qual íons com cargas diferentes são transportadas através das membranas de troca iônica quando um potencial elétrico é aplicado entre um ânodo e um cátodo. Uma célula de eletrodiálise consiste em uma série de membranas de troca aniônica (AEMs) e membranas de troca catiônica (CEMs) dispostas alternadamente entre os eletrodos sob a influência de um potencial elétrico.

OBJETIVOS

Esse trabalho visa analisar a eficiência da remoção de Ni usando o tratamento de eletrodiálise, assim como sua condição ótima de operação, levando em consideração a concentração de descarte permitida pela legislação, e possíveis fatores que possam influenciar o processo de remoção do metal.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento teve como base o trabalho de Santos (2016). Foram preparadas três soluções de 2L cada, sendo elas a solução eletrolítica, diluída e concentrada, cujas composições estão indicadas na tabela 1. Foi empregada água deionizada como solvente em todas as soluções.

Tabela 1: Composição das soluções de operação.

SOLUÇÃO	COMPOSIÇÃO	CONCENTRAÇÃO
CONCENTRADA	Água deionizada	2L
DILUIDA	Cloreto de Níquel	0,405g/L
ELETROLÍTICA	Sulfato de Sódio	37,3g/L

As soluções foram então distribuídas para seus respectivos recipientes no equipamento de eletrodiálise, este utiliza a célula eletrolítica PCCell ED 64 0 02 conforme mostrado nas Figuras 1 e 2. Dentro da célula são usadas 10 membranas de aniônicas (PC-AS), 9 membranas de catiônicas (PC-SK), 2 membranas catiônicas (PC-SC), 10 espaçadores concentrados e 10 diluídos, além de 2 espaçadores brancos.

Figura 1: Unidade de eletrodiálise.

Figura 2: Célula PCCell ED 64 0 02.

Inicialmente, foi necessário calcular qual seria a corrente de operação do processo de tratamento, para isso foi realizado um teste de corrente limite, a partir do qual foi calculada a corrente de operação. Nesta fase, a célula é submetida a uma flutuação do potencial elétrico, que aumenta continuamente em 0,2 V e o comportamento da corrente elétrica é observado. Com essas informações é gerada uma curva de corrente limite, Figura 3, onde a abscissa é o inverso da corrente média lida e a ordenada é a resistência (tensão dividida pela corrente). A corrente limite é encontrada no ponto de menor resistência, ou seja, o mínimo da curva, e a corrente de operação correspondem a 80% desse valor limite.

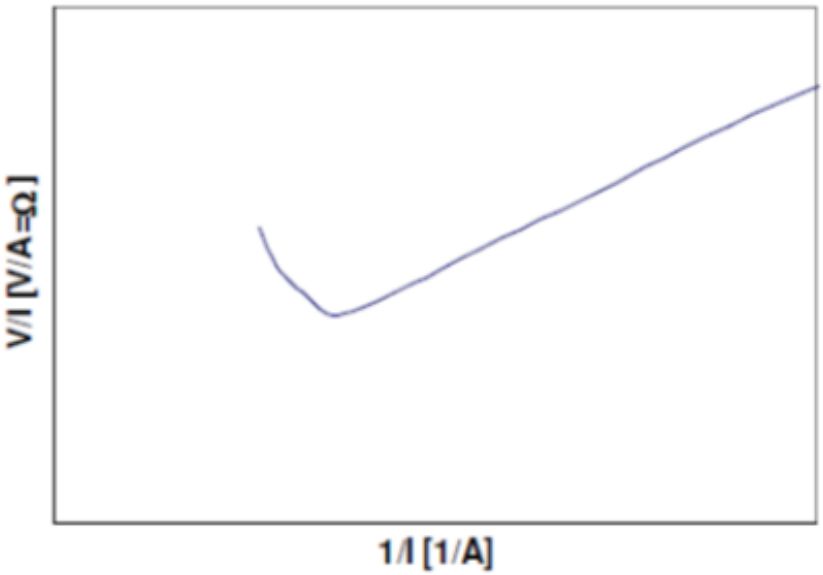

Figura 3: Corrente limite.

O experimento teve uma vazão constante de 40 L/h nos três tanques de operação com duração de 5h, sendo coletadas amostras com 20 mL a cada 15 minutos para análises de pH, condutividade e a concentração de Ni. Para a última análise foi necessário utilizar um espectrofotômetro de absorção atômica de chamas AA-7000 da empresa Shimadzu.
A análise de correlação entre as variáveis envolvidas no processo foi feita através de um programa elaborado na linguagem Python.

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Durante o experimento de corrente limite, foram observados os comportamentos da voltagem e amperagem, com esses valores foi possível construir o gráfico da Figura 4. Após gerar o gráfico, foi observado que o ponto

de mínimo tinha as coordenadas (10; 234), sendo este correspondente aos valores de 23,4 V e 0,1 A. A partir desses dados foi possível calcular o ponto de operação, que equivale a 80% do ponto de corrente limite, resultando em 18,72 V e 0,08 A.

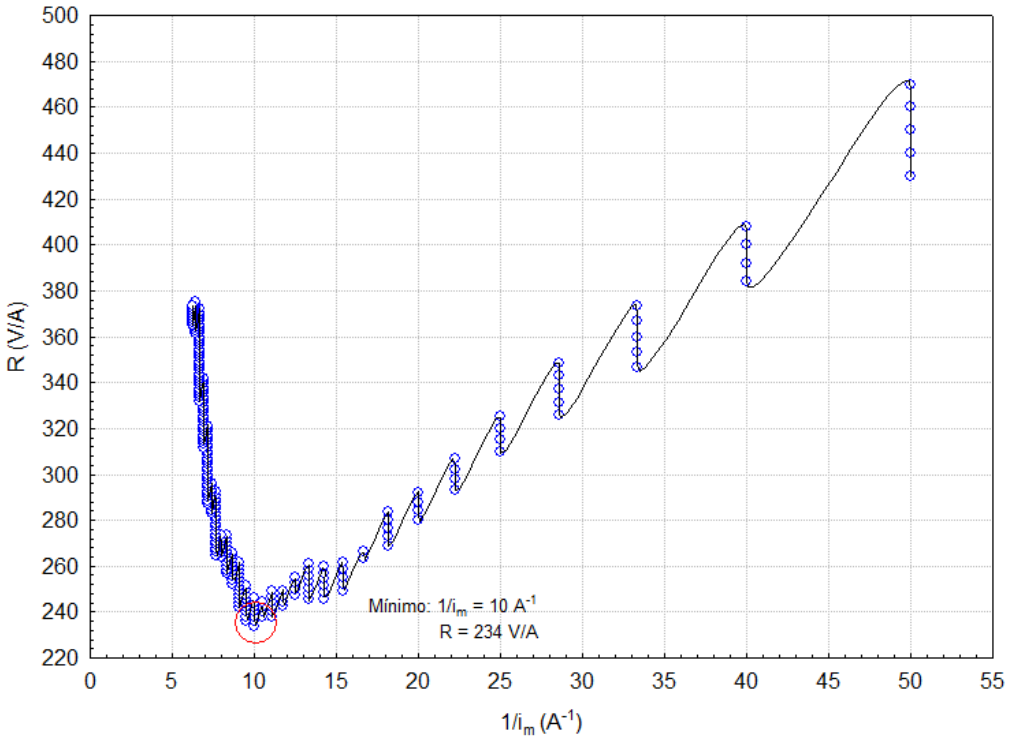

Figura 4: Corrente limite do Ni

Na Figura 5 está exposto o comportamento da concentração de níquel em cada corrente do processo, nos 15 primeiros minutos observou-se que o valor da concentração de níquel na solução diluída diminuiu de 100 ppm para 30,83 ppm. Essa remoção também pode ser observada na figura 6, onde foram obtidos 69% de recuperação do metal.

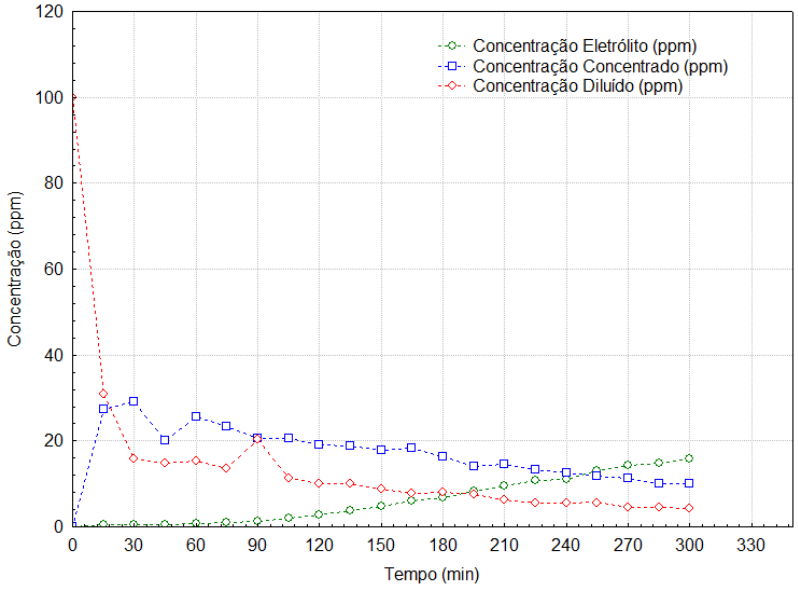

Figura 5: Concentração de níquel

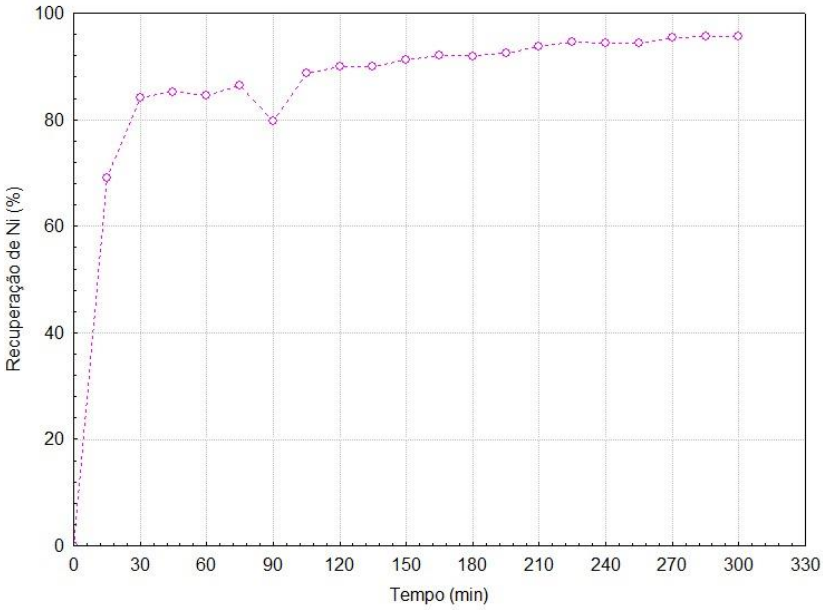

Figura 6: Remoção de níquel na solução diluída

Além da concentração, foram analisadas as variações de condutividade e pH, figura 6 e 7, respectivamente. A condutividade do concentrado e diluído tiveram comportamentos inversos, enquanto a do eletrólito, devido a seus altos valores, não foi analisada. No caso dos pHs, observou-se um comportamento invertido nas correntes concentrada e diluída, enquanto o eletrólito teve um declínio constante. Após a posse desses dados de tendências similares, decidiu-se verificar se eles possuíam algum tipo de correlação. Para isso, optou-se pelo uso da matriz de correlação, a qual foi calculada usando a linguagem de programação Python, sendo possível gerar as Figuras 9, 10, 11.

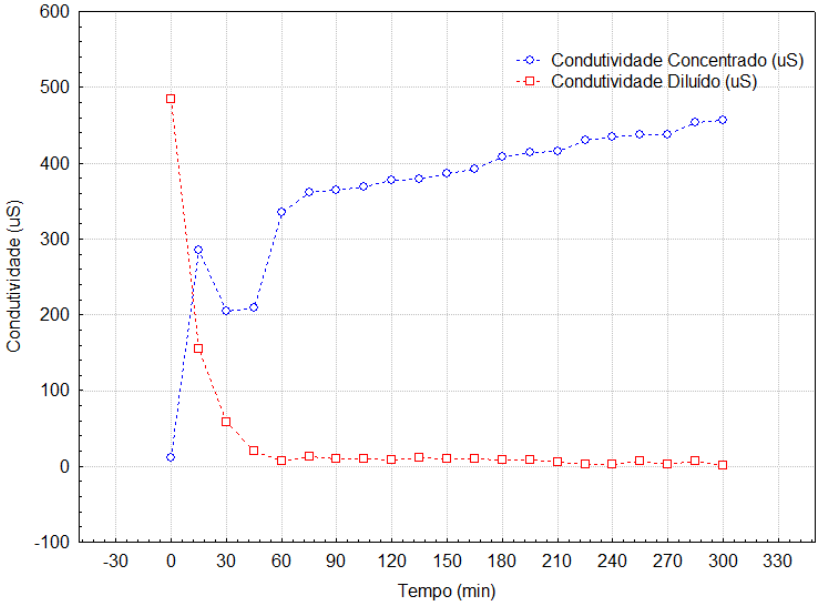

Figura 7: Condutividade

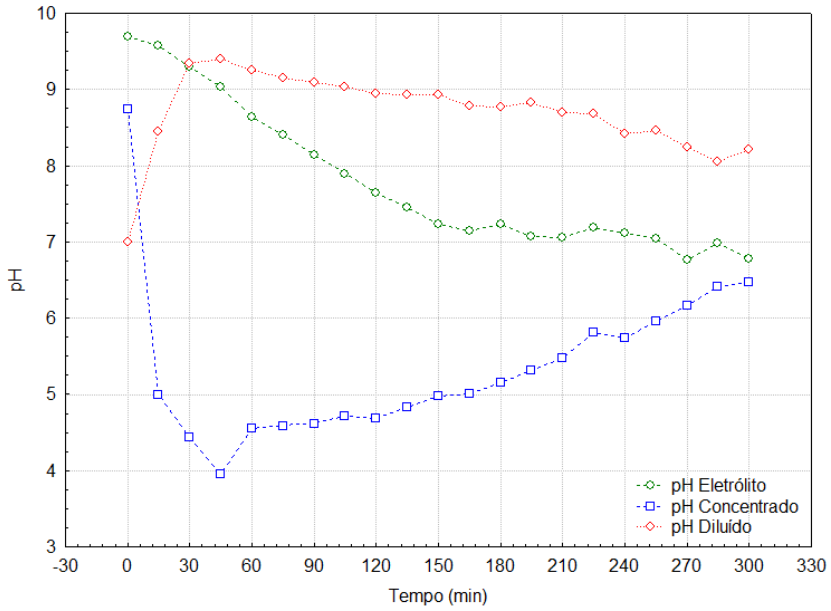

Figura 8: pH

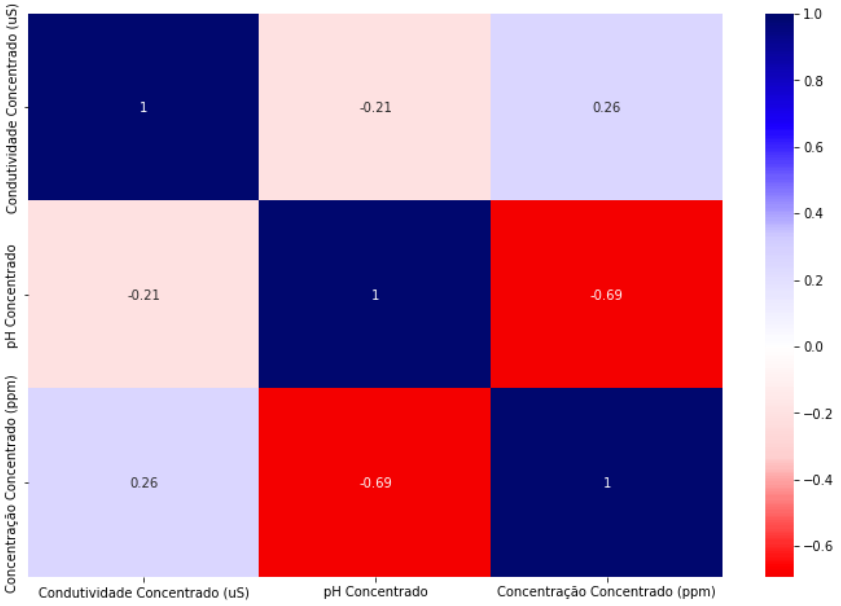

Figura 9: Matriz de correlação da condutividade, pH e concentração da solução concentrada

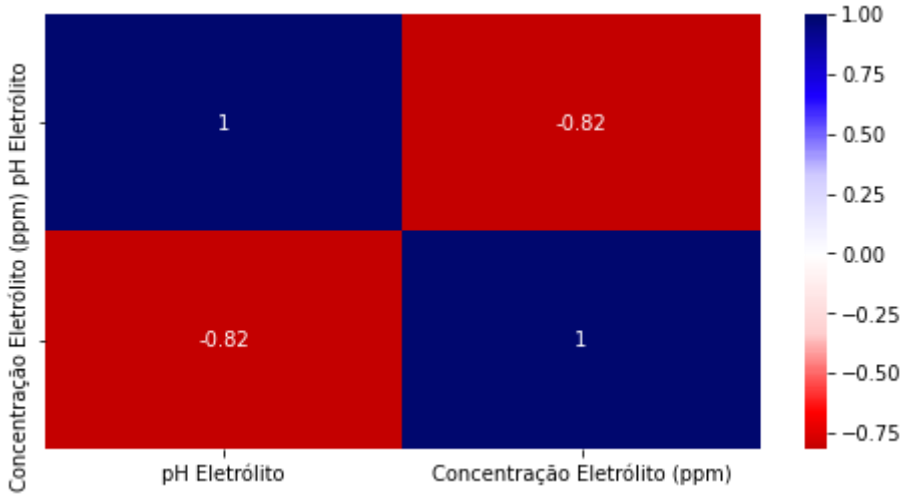

Figura 10: Matriz de correlação do pH e concentração da solução eletrolítica

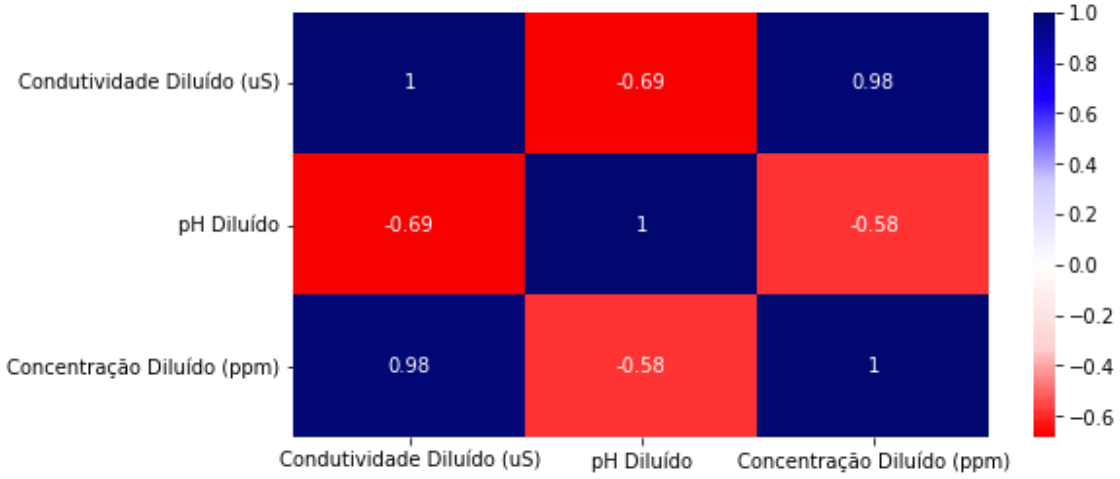

Figura 11: Matriz de correlação da condutividade, pH e concentração da solução diluída

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como houve a deposição do metal na superfície das membranas, este alojamento causou incrementos na pressão de operação do equipamento, o que retorna na forma de decréscimos na vazão de operação do sistema em algumas correntes, como observado nas correntes concentrada e diluída ao longo do experimento (Waleska, 2007; Borges, 2008). Para evitar problemas de operação, elas foram ajustadas constantemente para que a vazão continuasse constante em 40 L/h, em todas as linhas. Notou-se que, na Figura 5 a remoção de níquel pelo sistema se mantém eficiente até 75 minutos, onde se inicia o aumento de níquel na solução do eletrólito. Esse aumento de concentração indica a formação de um caminho preferencial através das membranas de troca eletrolítica, o que só vem a ocorrer após a saturação das membranas de troca iônica (Alcídio, 2014).

A resolução do CONAMA de 2011 impõe que a quantidade máxima de níquel em efluentes é de 2 ppm (2 mg/L), segundo os resultados obtidos de concentração da solução diluída o valor não conseguiu ser alcançado, o menor valor obtido foi de 4,34 ppm, o que indica que a configuração do sistema ainda precisa de ajustes para alcançar tal legislação.

O aumento no pH da solução concentrada e o decréscimo na diluída vistos na Figura 5 indicam que houve uma troca de elétrons entre elas. Esse fenômeno condiz com a Figura 5 e é reforçado pelos resultados da matriz de correlação (Figuras 9 e 11), onde comprovou que as variáveis pH e concentração possuíam uma correlação inversa, uma vez que seu valor foi superior a -0,5. A condutividade e concentração também apresentaram correlação como indicado na matriz, desta vez de forma direta (valores maiores que 0,5), entretanto, o

fenômeno não pode ser observado na solução concentrada. Isso pode ter ocorrido devido ao banco de dados utilizado para o cálculo ter um tamanho reduzido, sendo sensível a qualquer tipo de variação, o que é bem recorrente durante a aferição da condutividade.

CONCLUSÕES

No presente estudo verificou-se a eficiência da remoção de Ni usando o tratamento de eletrodiálise, cuja condição ótima de operação encontrada foi de 18,72 V, 0,08 A em um período de 75 minutos. No entanto, sob essas condições ainda não foi possível se enquadrar nas leis ambientais vigentes, sendo necessário fazer alguns ajustes no processo a fim de se chegar aos padrões estabelecidos. Notou-se a adsorção superficial do metal na superfície das membranas, as quais causaram pequenas variações de vazão no sistema, sendo necessário corrigi-las para não prejudicar a eficiência do processo. As descobertas de correlação entre as variáveis se mostraram interessantes, pois as determinações de pH e condutividade são muito mais simples e rápidas, sendo um parâmetro de fácil acesso para controle de rendimento. Como sugestão para trabalhos futuros, indica-se avaliar o desempenho do mesmo sistema com um conjunto maior de membranas de troca iônica, assim como um estudo detalhado do saturamento delas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abrão, A. Op. de Troca Iônica. SP: INST. DE PESQ. ENERG. E NUC. - CNEN/SP, 1972.
2. ANTONIADIS, V. *et al.* Bio. and health risk assessment of pot. tox. elements in Thriasio Plain, near Athens, Greece. **Environmental Geochemistry and Health**, [*s. l.*], v. 39, n. 2, p. 319–330, 2017.
3. BERTON, R. S. *et al.* Tox. do Ni em plantas de feijão e ef. sobre a mic. do solo. **Pesq. Agrop. Bras.**, [*s. l.*], v. 41, n. 8, p. 1305–1312, 2006.
4. BRILLO, J.; EGRY, I. Density Det. of Liq. Cu, Ni, and Their Alloys. **Int. J. of Thermophysics**, [*s. l.*], v. 24, n. 4, p. 1155–1170, 2003.
5. BRITO, C. P.; CAMARGO, M. T. T. **Estudo e mod. do proc. de transf. de massa durante a dessalinização de água por ED**. 55 f. 2010. TCC (Grad. em Eng. Quí.) - Esc. Polit. da USP, SP, 2010.
6. CEMPEL, M.; NIKEL, G. Ni: A Rev. of Its Sources and Env. Tox. **Polish J. of Env. Studies**, [*s. l.*], v. 15, n. 3, p. 375–382, 2005.
7. CHAN, K. H.; MALIK, M.; AZIMI, G. Sep. de Li, Ni, Mn e Co de resíduos de bat. de íons de Li usando ED. **Rec., Cons. e Recic.** , v. 178, p. 106076, 2022
8. CONAMA - Cons. Nac. do Meio Amb., 2000. **Resolução nº 274, 29 de Nov. de 2000.** MMA
9. FERREIRA, B. do N. **Abs. utilizados para o trat. de águas sub.: uma revisão.** 37 f. 2021. TCC (Grad. em Lic. em Quí.) - UFCG, Cuité, 2021.
10. GUNTHER, W. M. R. ÁREA CONT. POR DISP. INADEQUADA DE RESÍDUOS INDUST. DE GALV. *In*: CONG. BRAS. DE ENG. SAN. E AMB, 20., 1999. **Anais do CBESA**. [*S. l.*]: ABES, 1999. p. 2655–2664.
11. MOURA, R. C. A. et al. Estudo da Resist. Ôhmica em membrana de troca cat. no proc. de ED. **Rev. Iberoamericana de Pol.**, v. 15, n. 1, p. 1-6, 2014.
12. NOVELLI, E. L. B. *et al.* Differential/combined effect of water cont. with Cd and Ni on tissues of rats. **Env. Pollution**, [*s. l.*], v. 103, n. 2–3, p. 295–300, 1998.
13. PADIAL, P.; POMPÊO, M.; MOSCHINI-CARLOS, V. Heterogeneidade esp. e temp. da qual. da água no reserv. Rio das Pedras (Complexo Billings, SP). **Amb. e Agua - An Interd. J. of App. Sci.**, [*s. l.*], v. 4, n. 3, p. 35–53, 2009.
14. SANTOS, C. S. L. dos. **Ap. do proc. de ED na remoção de Cr em ef. sint. advindo de biorreator anaeróbico**. 2016. Diss. de Mest., UFU, MG, 2016.
15. VILAR, W. C. T. **Estudo Da Remoção De Metal Pesado (Ni) De Ef. Cont. Utilizando Argila Nacional**. 103 f. 2007. Dissertação (Mest. em Eng. Quí.) - UFCG, Campina Grande, 2007.
16. ZAMBELLI, B.; UVERSKY, V. N.; CIURLI, S. Ni impact on human health: An intrinsic disorder perspective. **Bio. et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics**, [*s. l.*], v. 1864, n. 12, p. 1714–1731, 2016.