

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA**

ETEC JÚLIO DE MESQUITA

Curso Técnico em Química Integrado ao Ensino Médio

Eduardo Carvalho de Moura

Giovana Soares da Silva

Kevin Gonçalves Santos

Rodrigo Vicente Manhães da Silva

**REMOÇÃO DE CROMO TRIVALENTE DE SOLUÇÕES AQUOSAS
COM O EMPREGO DE RESINAS DE TROCA IÔNICA**

São Paulo

2022

Eduardo Carvalho de Moura
Giovana Soares da Silva
Kevin Gonçalves Santos
Rodrigo Vicente Manhães da Silva

**REMOÇÃO DE CROMO TRIVALENTE DE SOLUÇÕES AQUOSAS
COM O EMPREGO DE RESINAS DE TROCA IÔNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Química da Etec Júlio de Mesquita, orientado pelo Professor Doutor Jhonny Frank Sousa Joca, como requisito parcial para obtenção do título de técnico em Química.

São Paulo
2022

RESUMO

O cromo (Cr) está entre os metais mais abundantes no planeta, estando presente no solo, e em corpos d'água. Este metal é muito utilizado por indústrias galvânicas e por curtumes, que geram resíduos contaminados com cromo que são, muitas vezes, despejados em rios, lagos ou no mar. O contato recorrente com cromo, em todas as suas valências traz riscos graves à saúde humana, podendo causar a formação de tumores pulmonares e nasais. Por isso, se torna necessário o estudo de métodos para o tratamento de efluentes que contenham cromo. Neste trabalho foi avaliada a eficiência do uso de resinas de troca iônica na retirada de cromo trivalente em solução aquosa, visando a aplicação no tratamento de resíduos industriais. O contato entre as resinas e a solução foi feito de três formas distintas: agitação manual, agitação mecânica e em coluna, e após a realização dos testes, as soluções tratadas foram submetidas a um processo de oxidação para possibilitar a análise espectrofotométrica para determinar a quantidade de cromo removida da solução.

ABSTRACT

Chromium (Cr) is among the most abundant metals in the world, and it is present in soil and bodies of water. This metal is widely used by galvanic industries and tanneries, which generate waste contaminated with chromium that is often dumped in rivers, lakes, and the sea. Recurrent contact with chromium, in all of its oxidation states, poses serious risks to human health and can cause the formation of lung and nasal tumors. Thus, it is necessary to study methods for the treatment of effluents that contain chromium. In this work, the efficiency of the use of ion exchange resins in the removal of trivalent chromium in solution was evaluated, minding its application in the treatment of industrial wastewater. The contact between the resins and the solution was carried out in three different ways: manual agitation, mechanical agitation, and in-column test. After the tests were carried out, the treated solutions were submitted to an oxidation process to enable the spectrophotometric analysis to determine the amount of chromium removed from the solution.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
1.1 O cromo e seus impactos.....	6
1.2 Cromatografia	6
1.2.1 Troca Iônica	7
1.2.2 Resinas de troca iônica	7
1.3.1 Remoção por precipitação química.....	8
1.3.2 Remoção por troca iônica.....	9
2 OBJETIVOS	10
2.1 Objetivos gerais	10
2.2 Objetivos específicos.....	10
3 PARTE EXPERIMENTAL	11
3.1 Materiais, reagentes e equipamentos.....	11
3.2 Preparo de soluções e resinas.....	11
3.2.1 Solução de HCl 2,0 mol/L.....	11
3.2.2 Resinas catiônicas.....	12
3.2.3 Solução de $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	12
3.2.4 Solução de NaOH 0,1 mol/L.....	12
3.2.5 Solução de H_2SO_4 0,1 mol/L	12
3.2.6 Solução de 1,5 difenilcarbazida	12
3.3 Teste em agitação manual	13
3.4 Teste em agitação mecânica	13
3.5 Teste em colunas.....	14
3.6 Determinação espectrofotométrica	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	18
4.1 Teste em agitação manual	18

4.2 Teste em agitação mecânica	18
4.3 Teste em coluna	20
CONSIDERAÇÕES FINAIS	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

1 INTRODUÇÃO

1.1 O cromo e seus impactos

Com a expansão das indústrias, a quantidade de efluentes contaminados com materiais tóxicos aumentou muito, incluindo aqueles contaminados com cromo, sendo as indústrias galvânicas e os curtumes, as principais fontes desse metal como contaminante. A concentração de cromo total, ou seja, em sua forma trivalente ou hexavalente, máxima permitida é de 0,5 ppm em águas doces e salinas destinadas para pesca ou banho, e 1,1 ppm para águas salinas em que apenas ocorre o trânsito de navios (CONAMA, 2005).

O cromo é um metal encontrado amplamente no meio ambiente que ocorre em diversos estados de oxidação, sendo o Cr(III) e o Cr(VI) os que apresentam maior estabilidade (SHANKER et al, 2011). As concentrações aceitáveis de cromo na água são baixíssimas, isso por conta de o cromo ser, em sua forma hexavalente, extremamente tóxico para os seres humanos e para os animais. O cromo trivalente, apesar de menos tóxico, é tido como uma espécie química de potencial de oxidação relativamente alto (BURBANO et.al, 2019). Os resíduos gerados pela indústria do couro, por exemplo, são destinados a aterros especializados devido ao risco de oxidação. Por conseguinte, foram desenvolvidos diversos métodos para a remoção desse contaminante de corpos aquáticos. Os métodos mais utilizados para tal são: precipitação química, extração, coagulação, adsorção, filtração e troca iônica (MINAS, SHANDRAVANSI e LETA, 2017; MAHMOUD, OBADA, KASSEM, 2013; DOMÍNGUEZ et al, 2018; ADAM et al, 2018; QIN et al, 2005; RIVAS et al, 2018).

1.2 Cromatografia

Entende-se por cromatografia um método analítico que tem como objetivo a identificação ou a separação dos componentes de uma mistura. A separação ocorre em decorrência da afinidade dos integrantes da mistura com as fases que integram o procedimento, chamadas de fase estacionária, que é responsável por impedir a passagem dos componentes, e de fase móvel, aquela responsável pela eluição da mistura. A cromatografia tem origem no início do século XX, quando o botânico Mikhail

Tswett desenvolveu um método para a separação dos componentes de um extrato de folhas.

São vários os critérios usados para a classificação das diferentes modalidades de cromatografia, sendo os mais comuns relacionados à técnica empregada, ao mecanismo de separação envolvido e aos diferentes tipos de fases utilizadas.

A forma física do sistema de cromatografia define a técnica geral: a fase estacionária pode ser colocada em um tubo cilíndrico ou disposta sobre uma superfície plana. Baseando-se nessa, a cromatografia pode ser subdividida em cromatografia em coluna e cromatografia planar. Na primeira, de acordo com o tamanho do diâmetro interno do tubo, temos as colunas preparativas (6-50 mm), analíticas (2-6 mm) e com microdiâmetro (<2 mm). As colunas preparativas e analíticas sempre apresentam a fase estacionária na forma de partículas e a fase ativa na forma de um sólido ou de um líquido que tanto pode recobrir a superfície do sólido como estar quimicamente ligado a ele. As colunas com microdiâmetro também podem ser recheadas com a fase estacionária ou podem possuir a fase estacionária sob a forma de um filme ou de partículas aderidas nas paredes do tubo. (COLLINS, 2006).

1.2.1 Troca Iônica

A troca iônica é um processo pelo qual os íons presos em um sólido poroso e essencialmente insolúvel são trocados por íons presentes em uma solução que é levada ao contato com o sólido (SKOOG et al, 2006). Quando realizado em coluna, é classificado como um método de cromatografia sólido-líquido, tendo como fase estacionária o sólido que adsorve os íons, e como fase móvel o solvente da solução que os contém.

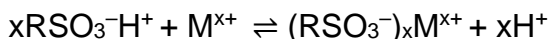
1.2.2 Resinas de troca iônica

Há uma grande variedade do que se pode chamar de materiais trocadores de íons, empregados para a aplicação de metodologias de separação por troca iônica. Entre eles, destacam-se as resinas de troca iônica ou resinas trocadoras de íons.

As resinas sintéticas trocadoras de íons são polímeros de alto peso molecular que contêm um grande número de grupos funcionais iônicos por molécula. As resinas trocadoras de cátions contêm grupos ácidos, enquanto

as resinas trocadoras de ânions possuem grupos básicos. Os trocadores do tipo ácido forte apresentam grupos ácidos sulfônicos (H) ligados à matriz polimérica aplicação mais ampla que os trocadores tipo ácido fraco, os quais devem sua ação a grupos carboxílicos (COOH). De forma similar, os trocadores de ânions tipo base forte possuem grupos amínicos quaternários [N(CH₃)₄], enquanto os do tipo base fraca contêm aminas secundárias ou terciárias. (SKOOG et al, p.872, 2006).

O funcionamento de resinas de troca iônica catiônicas se dá pelo equilíbrio:



Ao fim de sua fabricação, as resinas apresentam apenas grupos SO₃⁻, para que haja os íons H⁺ necessários para a troca de cátions, e as resinas devem passar por um processo de adsorção, em que os grupos ácidos serão formados.

1.3 Metodologias de remoção de cromo

A remoção de cromo trivalente de meios aquosos por intermédio de resinas de troca iônica catiônicas e seus mecanismos são amplamente contemplados pela literatura, em especial, por artigos científicos. Nesse contexto, diversos estudos contribuem para o conhecimento literário, e também para desenvolvimento do trabalho. Contudo, outros métodos de remoção de cromo são utilizados, sendo o mais comumente empregado o de precipitação química. (ALAM et al, 2020).

1.3.1 Remoção por precipitação química

A precipitação química é um método de separação em que, através de uma reação entre o agente precipitante e o contaminante, ocorre a sedimentação do material, de forma que se possa separar da solução o precipitado (ROHL, 2020). No que diz respeito à remoção do cromo, esse método é amplamente utilizado, por exemplo, pela indústria dos curtumes (MINAS; CHANDRAVANSI; LETA, 2017).

"Substâncias utilizadas habitualmente para promover a precipitação são: hidróxido de cálcio, hidróxido de sódio, óxido de magnésio ou carbonato de cálcio e magnésio" (HINTERMEYER et al, 2008, p.63, tradução nossa). Desse modo, com a utilização de agentes alcalinos, o cromo (III) precipita na forma de Cr(OH)₃.

Bianca Mella (2013) observou, ao fim de seu trabalho, que as concentrações de cromo após os processos de precipitação realizados pela autora sugeriram resultados favoráveis quanto ao método discutido.

Devem-se pontuar, no entanto, as limitações práticas do método de precipitação química. Esse processo requer, para satisfatória redução do teor dos contaminantes, a aplicação de grandes concentrações de produtos químicos (MELLA, 2013). Além disso, devido a interferência de determinados fatores do meio tratado, como o pH; a quantidade de reagente a ser utilizada é de difícil estimativa (POHL, 2020).

1.3.2 Remoção por troca iônica

Múltiplos métodos de adsorção e estudos acerca destes foram concebidos a fim de remover íons metálicos presentes em soluções aquosas (RENGARAJ et al, 2003). Nesse sentido, as resinas de troca iônica configuram um material de importância para o estudo da remoção de íons como o estudado Cr^{3+} . Cavaco et.al (2007) e Rengaraj et al. (2003) estudaram a remoção de cromo trivalente de águas, bem como parâmetros envolvidos nesse procedimento.

O cromo iônico pode ser removido por intermédio das resinas de troca iônica. Quando se objetiva a retirada de cromo trivalente do meio, utilizam-se resinas de troca iônica catiônicas que protagonizam a adsorção dos cátions Cr^{3+} (CASSI et.al, 2005). O estudo reportado por Rengaraj et.al (2003) corroborou na conclusão de as resinas de troca iônica mostram-se promissoras e eficientes na remoção de metais pesados como o cromo. (RENGARAJ et.al, 2003).

Cavaco et.al compararam duas diferentes marcas de resinas em termos da performance destas em relação a remoção de cromo (III) de soluções aquosas. Esses autores realizaram testes que envolveram a utilização de agitadores para promover o contato das soluções com as resinas durante 24 horas. Além disso, promoveu-se um experimento em coluna com a percolação da solução a 10 mL/min. Desse modo, através das discussões geradas, os autores atestaram eficiência satisfatória para ambas as marcas de resina. (CAVACO et al, 2007).

Portanto, nota-se que o método de remoção de cromo de soluções aquosas por intermédio de resinas trocadoras de íons apresenta características promissoras. Além do poder de troca de íons, que caracteriza eficiente remoção do cromo de meios aquosos; metodologias de adsorção, como o caso da troca iônica, destacam-se na remoção de íons metálicos, mesmo quando estes apresentam-se em quantidades pequenas (TOLEDO et al, 2013).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

O trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a eficiência de resinas de troca iônica catiônicas na remoção de cromo trivalente presente em soluções aquosas.

2.2 Objetivos específicos

Verificar a possibilidade de utilização de um método de remoção de cromo (III) empregando resinas catiônicas, visando o seu emprego para o tratamento de efluentes industriais contaminados com cromo trivalente. Bem como, avaliar a eficiência do processo, além de verificar a proporção ótima resina-solução.

3 PARTE EXPERIMENTAL

3.1 Materiais, reagentes e equipamentos

- Resinas de troca iônica catiônicas;
- Agitadores mecânicos FISATOM-713D e NOVA INSTRUMENTS - 1137;
- HCl 37%;
- $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 97%;
- NaOH 98%;
- H_2O_2 3%(m/v);
- H_2SO_4 98%;
- 1,5-difenilcarbazida 98%;
- Espectrofotômetro UV-vis EduTec
- Acetona 99,50%.

3.2 Preparo de soluções e resinas

Antes de sua utilização, foi necessário ativar as resinas de troca iônica catiônicas com um ácido forte, para que houvesse íons H_3O^+ em seus sítios ativos. Para isso, foi utilizada uma solução de HCl 2,0 mol/L.

Para simular um efluente contaminado com cromo (III), usou-se o CrCl_3 , numa solução de concentração 100 mg/L de cromo, preparada a partir de uma solução estoque de CrCl_3 a 500 mg/L de Cr^{3+} .

3.2.1 Solução de HCl 2,0 mol/L

Para o preparo da solução de HCl 2,0 mol/L, utilizada para promover a ativação dos sítios ativos das resinas catiônicas, mediu-se 82,8 mL do HCl P.A com auxílio de uma pipeta graduada de 25mL. Esse volume foi, então, então diluído em 500 mL de água deionizada.

3.2.2 Resinas catiônicas

Foram pesados 30g de resina catiônica em um béquer de plástico de 600 mL e adicionou-se a solução de HCl 2,0 mol/L até que as resinas estiverem cobertas. Após este processo, agitou-se o conteúdo do béquer por 15 minutos. Para total ativação dos sítios ativos das resinas catiônicas foram realizados outros dois banhos com a solução de ácido clorídrico. Ao fim dos três banhos, as resinas foram separadas por filtração com um algodão e cacos de porcelana em um funil de vidro.

3.2.3 Solução de $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Uma solução estoque de CrCl_3 foi preparada a partir da dissolução de 1,8718 g do sal de cromo em 1L de água deionizada, o que se traduz em uma concentração de 477,71 mg/L de cromo trivalente. Para o preparo das amostras de $100\text{mgCr}^{3+}/\text{L}$ utilizadas houve a diluição da solução estoque, para isso foram pipetados 52 mL de $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{aq})}$ e diluídos em 250 ml de água deionizada em um balão volumétrico.

3.2.4 Solução de NaOH 0,1 mol/L

O preparo da solução de hidróxido de sódio 0,1 mol/L, utilizado para o processo de oxidação do cromo trivalente para hexavalente, foi realizado pesando-se aproximadamente 4g do reagente sólido P.A e diluindo-se em 1L de água deionizada

3.2.5 Solução de H_2SO_4 0,1 mol/L

Uma solução de ácido Sulfúrico 0,1 mol/L foi preparada pipetando-se 5,5 mL de H_2SO_4 98% e diluindo-se em 1L de água deionizada. Essa solução foi necessária para a manutenção de um pH próximo de 1 na fase colorimétrica.

3.2.6 Solução de 1,5 difenilcarbazida

A solução de 1,5-difenilcarbazida, o reagente colorimétrico, foi preparada pesando-se 0,25g do reagente em um béquer e diluindo-se em 50 mL de acetona. Essa relação foi refeita semanalmente devido à degradação sob o contato da luz.

3.3 Teste em agitação manual

Da solução de $100 \text{ mgCr}^{3+}/\text{L}$ retiraram-se três alíquotas de 75 mL para a realização do teste em triplicata. Para cada replicata utilizou-se a massa de aproximadamente 9 g de resina (assim estabelecendo a relação 9g de resina/75mL) e promoveu-se a agitação manual ininterrupta por 1 hora (Figura 1).



Figura 1 - Agitação promovida manualmente

3.4 Teste em agitação mecânica

Com auxílio de uma proveta de 250 mL, foi coletado duas vezes um volume de 225 mL da solução de $100 \text{ mgCr}^{3+}/\text{L}$ e pesada duas vezes uma massa de 9g de resina para realização de dois testes simultâneos, que consistiam na agitação mecânica com velocidade constante da solução em contato com as resinas por 3 horas, em duas velocidades de rotação diferentes: 80 rpm e 132 rpm, sendo feita a retirada de alíquotas de 10 mL a cada 30 minutos (Figura 2).

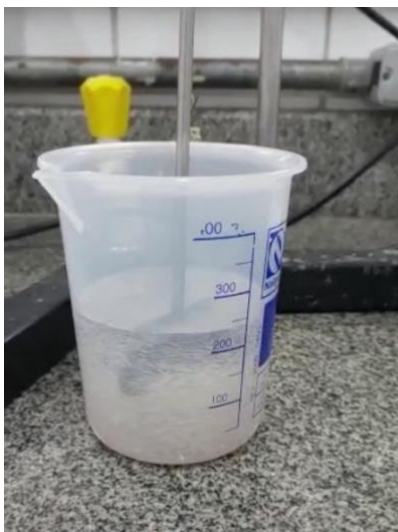


Figura 2 - Agitação mecânica

3.5 Teste em colunas

Além dos testes com agitação manual e mecânica, foi feito um teste em coluna, utilizando a mesma relação resina-solução, a fim de comparar os resultados entre os métodos. Para isso, foi utilizada uma bureta de 25 mL para a percolação de 337,5 mL de solução por 12,5g de resinas a uma vazão de aproximadamente 5 mL/min (Figura 3).



Figura 3 – Sistema de adsorção em coluna

3.6 Determinação espectrofotométrica

Para determinar a eficiência dos processos de adsorção em agitação manual e mecânica, e em coluna, optou-se pelo uso da espectrofotometria, pautando-se na metodologia prevista na norma da ABNT NBR 13738. Para que o procedimento se tornasse viável, foi preciso promover a oxidação do cromo (III) para sua forma hexavalente (Figura 4), a fim de então promover a reação com a 1,5-difenilcarbazida, que forma um complexo de coloração violeta que pode ser lido no aparelho (Figura 5). Essa reação se dá por intermédio da reação de cromatos e dicromatos com o agente cromogênico 1,5 difenilcarbazida (H₄L) que resulta na formação do complexo ([Cr(HL)₂]⁺) e pode ser representada pela seguinte equação química (SUSSULINI e ARRUDA, 2006):

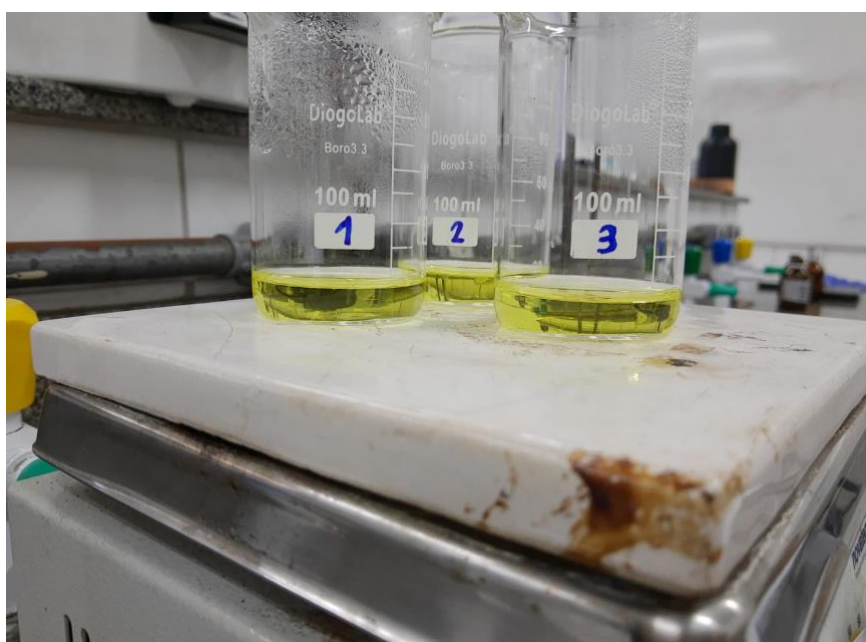
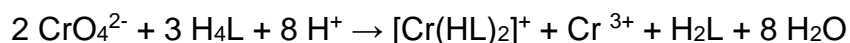


Figura 4 – Amostras tratadas sendo oxidadas

Para a oxidação, foi utilizado 3mL de NaOH 0,1 mol/L e 1mL de H₂O₂ 10 volumes (PENG et al, 2019). A mistura foi levada a aquecimento por 10 minutos, quando a solução começou a apresentar coloração esverdeada. À solução com cromo (VI), foi adicionado H₂SO₄ 0,1mol/L para manutenção do pH na faixa de 1,0±0,3, e em seguida foi adicionado 2,0mL de solução de 1,5-difenilcarbazida 0,005 g/L.

Para o preparo de curvas de calibração, foram utilizadas diluições de uma solução estoque 141,4 mg/L de dicromato de potássio, também conforme descrito na

norma da ABNT NBR 13738. Desse modo, foram preparadas - visando, em diferentes momentos, a determinação do teor de cromo das amostras tratadas - duas curvas de calibração, sendo a primeira de 0,05 mgCr/L a 0,5 mgCr/L (Figura 6) e a segunda, estendida, de 0,05 mgCr/L a 1,5 mgCr/L (Figura 7).



Figura 5 – Amostras oxidadas e submetidas à reação de complexação

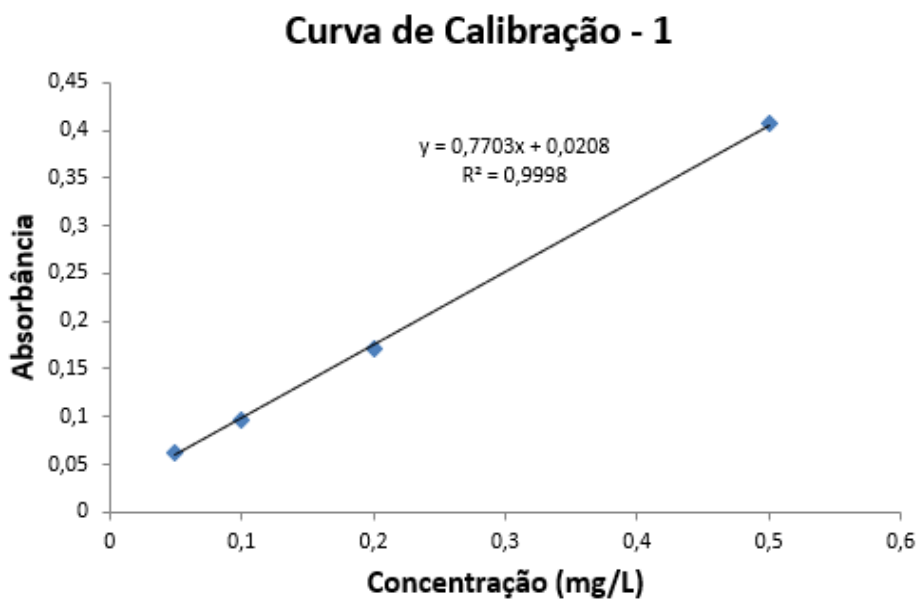


Figura 6 – Primeira curva de calibração: 0,05 mgCr/L - 0,5 mgCr/L

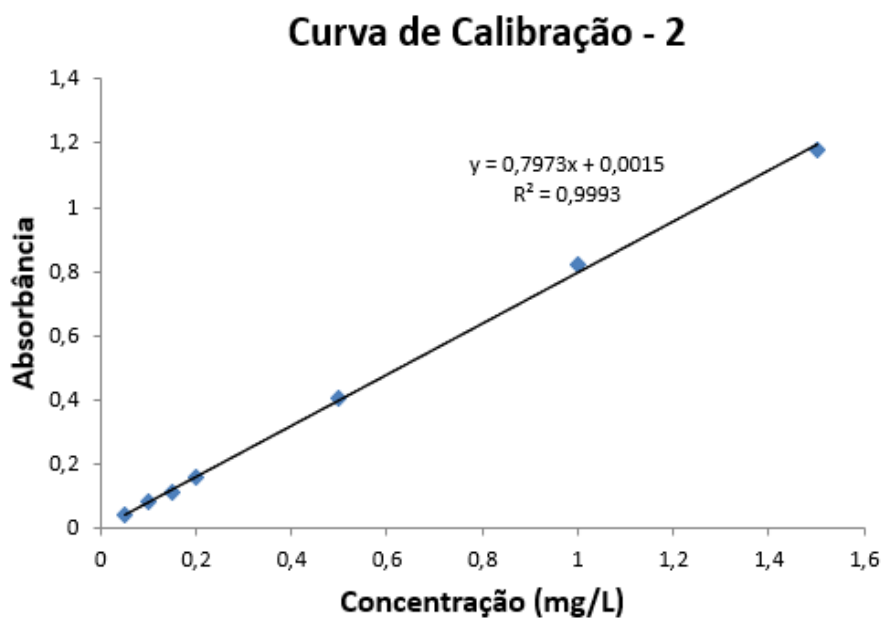


Figura 7 – Segunda curva de calibração: 0,05 mgCr/L - 1,5 mgCr/L

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Teste em agitação manual

Por meio do método colorimétrico de quantificação de cromo, foi possível determinar as concentrações pós-tratamento sob agitação manual. Os dados dispostos na Tabela 1 traduzem-se em uma eficiência de remoção do cromo de 85,12 ± 4,84%.

Tabela 1 - Concentrações final e inicial de Cr³⁺ para o tratamento em agitação manual

Teste	Concentração inicial (mg/L)	Concentração final (mg/L)
Replicata 1	100,00	12,15
Replicata 2	100,00	20,48
Replicata 3	100,00	12,02

4.2 Teste em agitação mecânica

As alíquotas retiradas a cada 30 minutos foram oxidadas e lidas no espectrofotômetro, haja vista do item 3.1.6. Possibilitando, assim, a avaliação das concentrações finais e a eficiência dos processos de adsorção.

Comparando-se as eficiências entre agitação a 132 rpm e 80 rpm (Figura 8), notou-se que a agitação a 132 rpm apresentou melhores resultados em relação percentual de remoção do cromo, tendo no tempo de agitação de uma hora a melhor performance. Desse modo optou-se, para a continuidade do trabalho, pelo tempo de agitação ótimo de uma hora sob agitação de maior rotação, a 132 rpm.

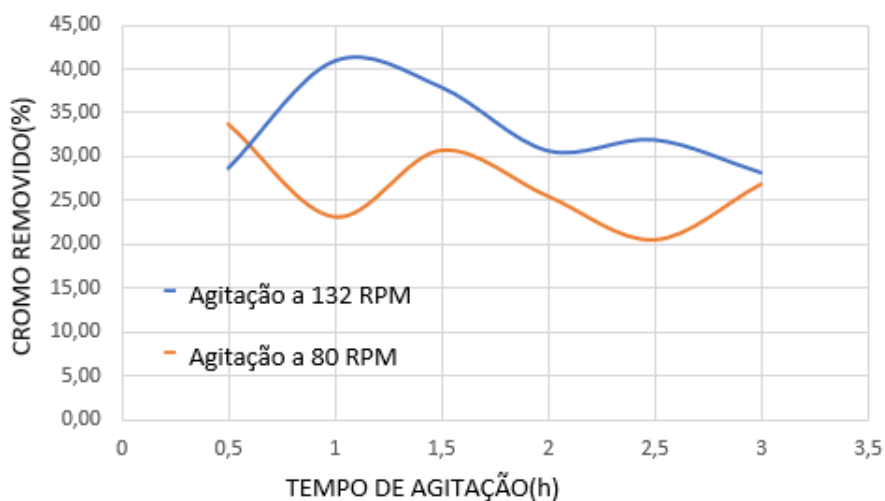


Figura 8 - Percentual de remoção de cromo em função do tempo de agitação para cada rotação dos agitadores (132 rpm e 80 rpm)

Fixado o tempo e a velocidade de agitação, objetivou-se estabelecer, a fim de aumentar o percentual de remoção de cromo, a relação ótima resina-solução. Para tanto, promoveram-se testes em duplicata em mesma relação resina-solução, de 9g/225mL e em maior relação, de 18g/225 mL. Entretanto, os dados obtidos nessa etapa (Tabela 2) mostraram-se insatisfatórios, uma vez que a concentração de cromo pós-tratamento de algumas replicatas encontrou-se maior que a inicial, de 100 mgCr³⁺/L. Esse resultado pode indicar algum tipo de contaminação de materiais e vidrarias utilizados.

Tabela 2 - Duplicatas da adsorção em agitação mecânica em diferentes relações resina-solução (9g/225mL e 18g/225mL).

Teste - Relação resina-solução	Concentração inicial (mg/L)	Concentração final (mg/L)
Replicata 1 - 9g/225mL	100,00	92,69
Replicata 2 - 9g/225mL	100,00	123,79
Replicata 1 - 18g/225mL	100,00	118,27
Replicata 2 - 18g/225mL	100,00	46,53

4.3 Teste em coluna

Três passagens da solução de 100 mgCr³⁺/L foram realizadas pela coluna montada, tendo sido a posteriori submetidas ao processo espectrofotométrico de determinação do cromo. Os dados levantados para esse teste foram, também insatisfatórios, apresentando percentuais de remoção de cromo (eficiências) próximos de zero. Vê-se que as concentrações pós-tratamento em coluna se encontraram maiores que as de antes do tratamento (solução inicial).

Tabela 3 - Dados de concentração de cromo (III) obtidos no teste em coluna

Teste	Concentração inicial (mg/L)	Concentração final (mg/L)	Eficiência (%)
Passagem 1	100,00	92,95	4,05
Passagem 2	100,00	103,22	0,0
Passagem 3	100,00	125,30	0,0

É pensado, portanto, que não só a diminuição do percentual de remoção de cromo, mas também o ligeiro aumento da concentração final, sejam causados por contaminações externas, sejam das vidrarias ou de reagentes utilizados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A remoção de cromo trivalente de efluentes industriais é de extrema importância, pois apresenta potencial de oxidação alto, e em sua forma hexavalente, é extremamente tóxico, de maneira com que, as concentrações permitidas desse contaminante, em água, sejam baixíssimas. O método de remoção por troca iônica, é vantajoso, pois as resinas são reutilizáveis e recondicionáveis para o tratamento de outros metais, ademais, essa metodologia é amplamente contemplada no meio científico e na literatura. O sucesso do método com boa aplicabilidade, representaria a diminuição de um agente carcinogênico e todas suas complicações para as formas de vida encontradas no planeta Terra.

A metodologia foi testada de três maneiras diferentes, incluindo dois tipos de agitação (manual e mecânica) e um teste colunas, para que assim fosse determinada a melhor aplicação, além disso, testou se a proporção ótima de resina e solução. A primeira tentativa foi feita em agitação manual em triplicatas, sendo o experimento com melhor eficiência em relação a porcentagem de retirada de cromo ($85,12 \pm 4,84\%$), porém, não é viável, em termos de aplicabilidade industrial.

Portanto, começaram-se testes em agitação mecânica os quais foram feitos com dois agitadores, um a 132 rpm, e o outro a 80 rpm. O resultado desse teste apresentou melhor eficiência em retirada de cromo, a agitação a 132 rpm por 1 hora. Repetiu-se, pois, o teste em agitação mecânica a 132 rpm por 1 hora, com dois agitadores, o primeiro com a mesma concentração de 9 g de resina para 225 mL de solução, e o outro com o dobro de resina. Ambas agitações foram proporcionadas a duplicatas, de maneira com que, se formassem 4 alíquotas, as quais obtiveram resultados inconclusivos, pois em cada um dos testes, houve aumento da concentração de cromo, em relação ao valor inicial, a hipótese para explicar esse acontecimento é uma possível contaminação advinda das vidrarias e/ou reagentes.

Em síntese, o objetivo do trabalho foi alcançado, pois por meio dos inúmeros experimentos feitos, pode-se concluir que a metodologia para retirada de cromo trivalente, mostrou-se inaplicável industrialmente, pois o mais alto percentual de remoção de cromo atingido seria insuficiente para atingir a concentração de 0,5 mg/L de cromo total proposta pelo CONAMA (CONAMA, 2005)

Como perspectivas futuras, sugere-se a retomada do teste a 132 rpm proporções resina - solução maiores que 18g/225 mL por uma hora e a percolação de

solução por resinas, com vidrarias devidamente esterilizadas e reagentes novos, a fim de que se investigue mais acuradamente se o método pode, ou não, remover cromo trivalente de efluentes de maneira acessível para a indústria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, Alcídio. **OPERAÇÕES DE TROCA IÔNICA**. 2ª Edição. São Paulo: IPEN/USP, 2014.

ADAM, M. R. et al. **The adsorptive removal of chromium (VI) in aqueous solution by novel natural zeolite based hollow fibre ceramic membrane**. *Journal of Environmental Management*, v. 224, p. 252–262, out. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13738: Determinação de cromo hexavalente - Método colorimétrico da difenilcarbazida**. Rio de Janeiro, p. 1-2. 1996.

BRASIL. CONAMA. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília:Diário Oficial da União, 18/03/2005.

CAVACO, A. Sofia. et al. *Journal of Hazardous Materials*. **Removal of chromium from electroplating industry effluents by ion exchange resins**. Coimbra, Portugal, Vol. 144, Edição 3, P. 634-638, jan. 2007.

COLLINS, C. H. **Fundamentos de cromatografia**. Campinas: Editora Unicamp, 2006.

HINTERMEYER † ‡, B. et al. **Separation of the chromium(III) present in a tanning wastewater by means of precipitation, reverse osmosis and adsorption**. *Latin American Applied Research*, v. 38, p. 63–71, 2008.

MAHMOUD, M. E.; OBADA, M. K.; KASSEM, T. S. **Removal and speciation of chromium by static step-by-step deposition and extraction technique**. *Chemical Engineering Journal*, v. 230, p. 210–219, ago. 2013.

MARTÍN-DOMÍNGUEZ, A. et al. **Chromium removal from drinking water by redox-assisted coagulation: Chemical versus electrocoagulation**. *Separation and Purification Technology*, v. 200, p. 266–272, jul. 2018.

MAYTAA Roddy, MAYTAB Jhony. Revista de la Sociedad Química del Perú. **Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación.** Perú, Vol. 83, N. 3, P. 331-340, 09/2017.

MELLA, Bianca. **Remoção de cromo de banhos residuais de curtimento através de precipitação química e eletrocoagulação.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul escola de engenharia departamento de engenharia química programa de pós-graduação em engenharia química, 2013.

MINAS, F.; SINGH SHANDRAVANSI, B.; LETA, S. **Chemical precipitation method for chromium removal and its recovery from tannery wastewater in Ethiopia.** International Scientific Organization, p. 291–305, maio 2017.

ORDOÑEZ BURBANO, D. E.; BENÍTEZ-CAMPO, N. **Remoción de cromo trivalente en aguas residuales de curtiembres mediante un proceso biótico-abiótico basado en el uso de yarrowia lipolytica y candida fluviatilis.** Revista Internacional de Contaminación Ambiental, v. 35, n. 4, p. 945–956, 1 nov. 2019.

PENG, Hao et al. Water Science & Technology. **Highly efficient oxidation of chromium (III) with hydrogen peroxide in alkaline médium.** China, Vol. 79, Edição 2, P. 366-374, 2019.

POHL, A. **Removal of Heavy Metal Ions from Water and Wastewaters by Sulfur-Containing Precipitation Agents.** Water, Air, & Soil Pollution, v. 231, n. 10, 28 set. 2020.

QIN, G. et al. **Hexavalent Chromium Removal by Reduction with Ferrous Sulfate, Coagulation, and Filtration: A Pilot-Scale Study.** Environmental Science & Technology, v. 39, n. 16, p. 6321–6327, 15 jul. 2005.

RIBEIRO, E. M. P. et al. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais. **Experimental study of the impact of the chrome from high energetic efficient fertilizers on the soil.** v.7, n.2, p.16-28, 2016.

RIVAS, Bernabé et al. Journal of the Chilean Chemical Society. **Cr(III) removal from aqueous solution by ion exchange resins containing carboxylic acid and sulphonic acid groups**. Chile, 63, Nº 2, P. 4012-4018, 2018.

SHANKER, A. K., VENKATESWARLU, B. **Chromium: environmental pollution, health effects and mode of action**. Encyclopedia of environmental health, 2011.

SKOOG, WEST, HOLLER, CROUCH. **Fundamentos de Química Analítica, Tradução da 8ª Edição norte-americana**. Editora Thomson, São Paulo, 2006.

SUSSULINI, A.; ARRUDA, M. A. Z. **Determinação de cromo (VI) por espectrometria de absorção atômica com chama após a extração e pré-concentração no ponto nuvem**. Eclética Química, v. 31, n. 1, p. 73–80, 2006.

TOLEDO, Thiago Vinícius et al. Química Nova. **Remoção de cromo (vi) de soluções aquosas utilizando o compósito magnético calcinado hidrotalcita-óxido de ferro: estudo cinético e de equilíbrio termodinâmico**. Minas Gerais, Vol. 36, No. 3, P.419- 425, 2013.