



CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA – UnICEUB
PROGRAMA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

MATHEUS PIRES MARTINS
GABRIEL PEREIRA DE LIMA

**REMOÇÃO DE CROMO(VI) DE SOLUÇÕES AQUOSAS POR ADSORÇÃO
UTILIZANDO UM ÓXIDO INORGÂNICO E APLICANDO O PLANEJAMENTO
FATORIAL**

BRASÍLIA
2019



Matheus Pires Martins

Gabriel Pereira de Lima

**REMOÇÃO DE CROMO(VI) DE SOLUÇÕES AQUOSAS POR ADSORÇÃO
UTILIZANDO UM ÓXIDO INORGÂNICO E APLICANDO O PLANEJAMENTO
FATORIAL**

Relatório final de pesquisa de Iniciação Científica
apresentado à Assessoria de Pós-Graduação e
Pesquisa.

Orientação: Maria José de Souza Serafim

BRASÍLIA

2019

AGRADECIMENTOS

Iniciamos os agradecimentos a Deus, já que Ele colocou pessoas tão especiais em nosso caminho.

Agradecemos à nossas famílias pelo apoio dado em cada um dos dias até a finalização de trabalho.

À equipe do LABOCIEN do campus de Taguatinga II do UniCEUB, por todo apoio com os materiais utilizados em nossa pesquisa.

Ao Centro Universitário de Brasília (UniCEUB), pela oportunidade enriquecedora que agora marca não só nossa carreira profissional, mas nossas vidas.

Finalmente, gostaríamos de agradecer à Professora Dra. Maria José pelos ensinamentos e oportunidades oferecidos em diversos momentos desde que nos conhecemos, pois sem ela não poderíamos ter realizado este sonho. Proporcionou-nos mais que a busca de conhecimento técnico e científico, mas uma lição de vida.

RESUMO

Metais pesados são constituintes normais de ecossistemas, no entanto as atividades humanas vêm aumentando a quantidade circulante destes no ambiente. Em virtude disto, novos métodos de remoção estão sendo pesquisados e usados e, o óxido de nióbio(V) hidratado é um exemplo, pois é um excelente adsorvente inorgânico e apresenta requisitos de seletividade e estabilidade necessários e com custos reduzidos quando comparados a outros materiais. A adsorção é um processo largamente empregado na remoção de metais em rejeitos de inúmeras atividades químicas, onde o descarte de metais tóxicos pode ultrapassar os limites legais. Este trabalho teve como finalidade avaliar a eficiência do óxido de nióbio(V) hidratado, sem tratamento prévio em reações de adsorção frente aos ânions contendo cromo(VI). Foram realizadas reações de adsorção para avaliar a quantidade de íons dicromato que o óxido pode adsorver, utilizando o planejamento fatorial com os seguintes parâmetros: massa do trocador, tempo de agitação e volume de solução de dicromato. Verificou-se que aumentando a massa do trocador, obtém-se um significativo acréscimo na porcentagem de ânions adsorvidos. Além disso, os resultados mostraram-se mais eficientes em relação a trabalhos anteriores, onde se realizou o processo de reprecipitação do óxido de nióbio, procedimento que gerou a formação de subprodutos, reduzindo consideravelmente a eficiência da adsorção, que foi de apenas 53%. Já nesta pesquisa se obteve melhores resultados, com adsorção de 75% dos íons de dicromato, no experimento que utilizou 4 g do adsorvente, 40 mL de solução de dicromato de potássio 0,02% e tempo de agitação de 60 min. O óxido utilizado apresentou 25,5% de água, que resultou na fórmula geral: $Nb_2O_5 \cdot 4,6H_2O$. Os resultados obtidos na remoção de ânions dicromato - cromo(VI) foram satisfatórios, o que propiciará o desenvolvimento de pesquisas envolvendo reações de adsorção, utilizando-se $Nb_2O_5 \cdot nH_2O$ como adsorvente, para a remoção de outros metais poluentes do meio ambiente, visando assim uma melhor qualidade de ambientes aquáticos.

Palavras-Chave: Óxido de nióbio hidratado, adsorção, cromo(VI)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
1.1	Objetivos	6
1.1.1	Objetivos Geral.....	6
1.1.2	Objetivos específicos.....	6
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1	Metais Pesados.....	7
2.2	Metais Pesados e suas Principais Fontes de Contaminação.....	7
2.3	Metais Pesados e Saúde	8
2.4	Cromo (Cr)	9
2.5	Nióbio (Nb).....	10
2.5.1	Histórico do Nióbio.....	10
2.5.2	Disponibilidade do Nióbio	11
2.5.3	Óxido de Nióbio Hidratado.....	11
2.6	Adsorção	12
3	MÉTODOLOGIA.....	14
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

Lista de Figuras

Figura 1: Óxido de Nióbio e pesagem em erlenmeyer	19
Figura 2: Filtração da suspensão resultante de cada reação de adsorção.	20
Figura 3: Gráfico da curva das soluções padrão de $K_2Cr_2O_7$ - 0,02%.....	23
Figura 4: Curva de calibração do Espectrofotômetro	24

Lista de Tabelas

Tabela 1: Experimento A – Variáveis e seus níveis para o planejamento fatorial.	15
Tabela 2: Experimento B – Variáveis e seus níveis para o planejamento fatorial	15
Tabela 3: Matriz de bloco de 8 experimentos para o planejamento fatorial.	16
Tabela 4: Distribuição do experimento 1 ^a	17
Tabela 5: Distribuição – Experimento 1B	18
Tabela 6: Concentração, absorvância e transmitância das soluções padrão de dicromato de potássio – 0,02%	22
Tabela 7: Leituras para Calibração Espectrofotômetro	24
Tabela 8: Absorvância e Transmitância – Experimento 1 ^a	25
Tabela 9: Absorvância e Transmitância – Experimento 1B.....	26
Tabela 10: Resultados – Experimento 1 ^a	28
Tabela 11: Resultados – Experimento 1B	28

Lista de equações

Equação 1: Quantificação de íons contendo Cr(VI)	14
Equação 2: Concentração molar - Cm.	21
Equação 3: Quantidade de matéria - N	21
Equação 4: Concentração molar - Cm	21
Equação 5: Cálculo da massa molar - MM.....	21

1 INTRODUÇÃO

O tratamento clássico de sistemas aquáticos contendo metais pesados envolve processos físico-químicos de precipitação química, troca iônica e extração por solventes. O processo de troca iônica é acompanhado por outros processos tais como: adsorção, quimissorção e absorção. Para Vesely e Pekarek (VESELY, 1972), os materiais inorgânicos sintéticos apresentam excelentes propriedades de troca iônica; várias aplicações têm sido estudadas para os trocadores iônicos inorgânicos, nas áreas como química analítica, química e bioquímica ambiental, separações cromatográficas de diversos íons e tratamento de resíduos industriais contendo íons de metais pesados (TAGLIAFERRO, 2004, 2005).

Os óxidos hidratados de metais polivalentes ocupam uma importante posição entre os sorventes inorgânicos (QURESSH, 1991; CLEARFIELD, 1982), pois são praticamente insolúveis em água e a maioria deles apresenta estrutura rígida, sofrendo pouca dilatação ou contração quando imersos em solução aquosa, características necessárias para um bom desempenho como trocador iônico (SILVA, 2003; TAGLIAFERRO, 2005; JIMENEZ, 2004; CLEARFIELD, 1982). O interesse por estes materiais tem se mantido, uma vez que mostram estabilidade e seletividade necessárias, além dos menores custos em relação às resinas orgânicas.

Dentre os óxidos metálicos inorgânicos utilizados como trocador iônico pode ser destacado o óxido de nióbio (V) hidratado, também chamado de “ácido nióbio”. O óxido de nióbio(V) hidratado é estável em relação à maior parte dos reagentes ácidos. Sua capacidade de troca iônica decresce com o aumento da temperatura de aquecimento, e é transformado em material cristalino a altas temperaturas (SILVA, 2002 e 2003). Trabalhos publicados por Egorov e colaboradores mostraram que o “ácido nióbio” comporta-se como um trocador iônico anfótero, podendo comportar-se como trocadores catiônicos ou aniônicos (EGOROV, 1967).

Este trabalho propõe realizar reações de adsorção pelo óxido de nióbio (V) hidratado, sem tratamento prévio de reprecipitação, com íons Cromo (VI) em soluções aquosas diluídas. A reação direta diminui o número de etapas, de compostos químicos, minimizando assim a formação de subprodutos indesejáveis. A quantificação de íons adsorvidos será determinada utilizando um espectrofotômetro na faixa do visível.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos Geral

Investigar a aplicação do óxido de nióbio(V) hidratado para a remoção de íons contendo Cromo (VI) em solução aquosa.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar uma revisão bibliográfica sobre o tema visando principalmente a questão ambiental;
- Realizar as reações de adsorção conforme o planejamento fatorial proposto;
- Verificar em que condições ocorrem melhor adsorção;
- Conhecer a legislação atual sobre a poluição ambiental causado por íons contendo Cromo(VI).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Metais Pesados

Acredita-se que os metais talvez sejam os agentes tóxicos mais conhecidos pelo homem. Há aproximadamente 2.000 anos A.C., grandes quantidades de chumbo eram obtidas de minérios, como subproduto da fusão da prata e isso, provavelmente, tenha sido o início da utilização desse metal pelo homem (SALGADO, 1996).

Os metais pesados ou elementos traço são os elementos químicos que não são encontrados naturalmente em nenhum organismo vivo. E os principais são: chumbo, mercúrio, cádmio, cromo, arsênio, manganês, níquel entre outros.

Os metais pesados são bem diferentes dos outros agentes tóxicos, visto que não são sintetizados e nem destruídos pelo homem. Do ponto de vista da química, são altamente reativos, o que torna mais difícil encontrá-los em estado puro na natureza. Habitualmente, apresentam-se em concentrações pequenas, associados a outros elementos químicos, formando minerais em rochas. Porém, a atividade industrial diminui significativamente a permanência desses metais nos minérios, utilizando-os na produção de novos compostos, alterando dessa forma a sua distribuição pelo planeta.

Atualmente, o progresso tecnológico depende significativamente da evolução do domínio dos metais, pois ele é utilizado em muitas construções no intuito de melhorar as condições de vida da sociedade moderna. Em transportes, estruturas e ferramentas são usadas grandes quantidades de ferro fundido e aço. Em quase todas as aplicações elétricas é utilizado cobre. À nossa volta observa-se uma crescente utilização de alumínio e de outros metais leves, como o titânio (BIANCHINI *et.al.*, 2007).

Porém, muitas pessoas não sabem que estes metais podem ser muito danosos à saúde dos seres vivos, quando estão em excesso no meio ambiente.

2.2 Metais Pesados e suas Principais Fontes de Contaminação

Como tem-se conhecimento, os metais pesados não são encontrados em grandes quantidades naturalmente, logo conclui-se que a contaminação do meio ambiente é

causada por atividade antrópicas que utilizam esses elementos em seus processos de produção.

As principais fontes de contaminação do ambiente por metais pesados ocorrem através das seguintes atividades:

- Indústrias metalúrgicas, de tintas, de cloro e de plástico PVC (cloreto de polivinila);
- Incineradores de lixo urbano e industrial;
- Garimpo de aluvião (método que usa mercúrio para descoberta e retirada do ouro);
- Indústrias de pilhas e baterias que usam chumbo na composição dos produtos;
- Galvanoplastia.

A principal fonte de contaminação das águas por metais pesados ocorre pelos despejos de resíduos industriais. As indústrias metalúrgicas, de tintas, de cloro e de plástico PVC (cloreto de polivinila), entre outras, utilizam mercúrio e diversos metais em suas linhas de produção e acabam lançando parte deles nos cursos de água. Os incineradores de lixo urbano e industrial também são uma fonte importante de contaminação, pois provocam a volatilização e formam cinzas ricas em metais, como o mercúrio, chumbo e cádmio (BIANCHINI *et al.*, 2007).

Portanto, desta maneira, fica evidente que as pessoas que residem em localidades próximas às áreas industriais ou incineradores, correm maiores riscos de contaminação.

2.3 Metais Pesados e Saúde

O descarte dos metais pesados no meio ambiente causa enormes problemas para os organismos vivos, pois contaminam os ecossistemas terrestres e aquáticos. Além disso, são absorvidos pelos tecidos vegetais e animais, onde são bioacumulados, processo este que provoca graves doenças. Quando chegam ao ambiente marinho, reagem com a água salgada, onde parte desses poluentes sedimenta-se no leito desse ecossistema, representando um estoque permanente de contaminação para a fauna e flora aquática, o que pode acarretar infecção das populações que dependem da pesca nesses locais.

O consumo habitual de água e alimentos – como peixes de água doce ou do mar – contaminados com metais pesados coloca em risco a saúde, principalmente das populações que moram em torno das fábricas de baterias artesanais, indústrias de cloro-soda que utilizam mercúrio, indústrias navais, siderúrgicas e metalúrgicas.

Todas as formas de vida são afetadas pela presença de metais pesados dependendo da dose e da forma química. Muitos metais são essenciais para o crescimento de todos os tipos de organismos, desde as bactérias até mesmo o ser humano, mas eles são requeridos em baixas concentrações, pois podem danificar sistemas biológicos (SALGADO, 1996).

As consequências dos efeitos tóxicos dos metais sempre foram consideradas como eventos de curto prazo, agudos e evidentes, porém atualmente, ocorrências a médio e longo prazo são observadas, e as relações causa-efeito são pouco evidentes e quase sempre subclínicas. A manifestação dos efeitos está associada à dose e pode distribuir-se por todo o organismo, afetando vários órgãos, alterando os processos bioquímicos, organelas e membranas celulares (BIANCHINI *et al.*, 2007).

Na maioria das vezes, esses efeitos são difíceis de serem distinguidos, pois podem ser provocados por outras substâncias tóxicas ou por interações entre esses agentes químicos. Estudos realizados por vários cientistas levam-nos a acreditar que pessoas idosas e as crianças são mais suscetíveis às substâncias tóxicas.

Recentemente, tem sido noticiado na mídia escrita e falada a contaminação de adultos, crianças, lotes e vivendas residenciais, com metais pesados, principalmente por chumbo e mercúrio (ACEITUNO, 2002). Contudo, a maioria da população não tem informações precisas sobre os riscos e as consequências da contaminação por esses metais para a saúde humana.

Este projeto tem como objetivo avaliar a adsorção do metal pesado: o cromo (OZDEMIR, 2004). Então, abaixo está descrito algumas características e os efeitos deste metal pesado sobre a saúde humana.

2.4 Cromo (Cr)

O cromo é um metal duro, de coloração cinza que reage com os ácidos clorídrico e sulfúrico. Ele é obtido a partir do minério cromita e apresenta-se sob as formas bivalente, trivalente e hexavalente (TOLEDO *et al.*, 2013). Encontrado em vários

processos de produções das indústrias de galvanoplastia, soldagens, liga de ferro-cromo, curtume, produção de cromatos, dicromatos, pigmentos e vernizes.

Os efeitos do cromo sobre a saúde dependem muito do tipo do composto e da sua concentração, a partir disto, ele pode provocar danos permanentes ou não, em muitos casos pode causar a morte do indivíduo. Os sintomas mais comuns da contaminação de cromo são efeitos cutâneos, nasais, bronco-pulmonares, renais, gastrointestinais e carcinogênicos (SOUZA *et al.*, 2009).

O cromo (VI) é bastante tóxico e perigoso, pois é altamente cancerígeno e quando é ingerido em grandes quantidades, torna-se letal. A maioria dos compostos de cromo (VI) irritam os olhos, a pele e as mucosas. O cromo metálico e o cromo(III) são essenciais para o ser humano, porém em altas concentrações é tóxico. Quando o cromo é absorvido por via cutânea, ele permanece por um longo tempo retido na junção dermo-epidérmica e no estrato superior da mesoderme (BIANCHINI *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2009).

A eliminação do cromo no corpo humano ocorre, principalmente através da urina, a qual ocorre após as primeiras horas de exposição.

De acordo com Bianchini *et al.* (2007), a Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda desde 1958 uma concentração máxima de 0,05 mg/litro de cromo(VI) na água de consumo, porém este valor está sendo revisado, havendo novos estudos sobre os seus efeitos a saúde.

Seguindo a mesma linha, a Portaria nº 2.914 dispõe sobre o padrão de potabilidade da água para consumo humano no Brasil, prevendo em seu anexo VII que o Valor Máximo Permitido (VMP) para Cromo na água de abastecimento é de 0,05 mg/litro.

Outro fator importante a ser mencionado é que o Cromo integra a lista da EPA (Agência Ambiental dos EUA) com um dos 129 poluentes mais críticos (CHEIS, 2019).

2.5 Nióbio (Nb)

2.5.1 Histórico do Nióbio

Em 1801, Charles M. Hatchett ao analisar alguns minerais de cromo encontrou um mineral desconhecido, o qual denominou de columbite, uma vez que tinha sido

descoberto a partir de um minério americano. Em 1802, A. G. Ekeberg estudando minerais finlandeses encontrou um novo mineral semelhante à columbite, devido a sua dificuldade em dissolver esse mineral em meio ácido chamou de tântalo (SILVA E RODRIGUES, 2007). Quase cinquenta anos mais tarde, H. Rose descobriu dois novos elementos em uma amostra de columbite, um deles era semelhante ao tântalo de Ekeberg e o outro ele deu o nome de nióbio, em memória de Níobe, filha do deus grego Tântalo. Somente em 1864, Blomstrand, através da redução do cloreto aquecido em atmosfera de hidrogênio, conseguiu isolar o nióbio (SOARES, 2004).

2.5.2 Disponibilidade do Nióbio

O nióbio é encontrado em mais de 50 minerais, tais como: niobita, niobitantalita, euxenita e pirocloro-microlita. O pirocloro é, sem dúvida, o mais importante, sendo responsável por 85% de suprimento mundial, sendo que o pirocloro brasileiro apresenta níveis bastante reduzidos de tântalo (SERAFIM, 1994). Minerais que contém nióbio geralmente possuem também o tântalo.

O nióbio pode ser encontrado em todos os países, uma vez que eles apresentam condições geológicas propícias para a sua ocorrência (SERAFIM, 1994). Países como Canadá, Rússia, Brasil e alguns africanos detêm as maiores reservas de nióbio atualmente. Cabe ressaltar que, o Brasil possui a maior reserva de nióbio do mundo, localizada na região do Estado do Amazonas no Município de São Gabriel da Cachoeira.

No Brasil, as empresas localizadas em Catalão – GO e Araxá – MG são responsáveis pela produção de nióbio e respondem por 97% da produção mundial (MORAIS, 2004). As empresas brasileiras produzem o nióbio a partir do processamento do pirocloro encontrado em carbonatitos. A jazida de Araxá sozinha é capaz de cobrir a demanda de nióbio por mais de 300 anos e as reservas brasileira são suficientes para 1000 anos de produção (SERAFIM, 1994). É evidente que o desenvolvimento de tecnologias que utilize esse elemento é crucial para um melhor aproveitamento e valorização dessa reserva que o país possui.

2.5.3 Óxido de Nióbio Hidratado

O óxido de nióbio(V) hidratado ou “ácido nióbico” ($\text{Nb}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), apresenta grande estabilidade com relação à maior parte dos reagentes ácidos, exceto aos ácidos

fluorídrico, sulfúrico concentrado e clorídrico, além de demonstrar uma grande eficiência para catalisar várias reações que ocorrem em presença de água, como as reações de desidratação e esterificação.

A sua capacidade de troca iônica está relacionada com o tamanho e forma de cristais, técnica de precipitação, tipo e concentração do agente precipitante utilizado, pois esses parâmetros definem o tipo de estrutura física dos óxidos hidratados (grau de hidratação) e conseqüentemente o comportamento de troca iônica (SILVA *et al.*, 2002; TAGLIAFERRO *et al.*, 2003). Com o aumento da temperatura de aquecimento a sua capacidade de troca iônica decresce, e é transformado em material cristalino a altas temperaturas (CLEARFIELD, 1982).

O óxido de nióbio(V) hidratado ($\text{Nb}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) pode ser preparado através da fusão ácida do pentóxido de nióbio anidro (Nb_2O_5) com bissulfato de potássio – (KHSO_4) e posterior precipitação em meio alcalino (NH_4OH); pela fusão alcalina do óxido de nióbio(V) anidro (Nb_2O_5) com carbonato de potássio (K_2CO_3) e precipitação em meio ácido (HNO_3) ou pela precipitação a partir de solução aquosa de oxalato de nióbio [$\text{Nb}_2(\text{C}_2\text{O}_4)_5$].

2.6 Adsorção

Talvez seja estranho o nome "adsorção" ao invés de "absorção". A diferença é proposital, porque a absorção é um fenômeno em que uma substância permeia o volume de outra (por exemplo, uma esponja absorve água), enquanto a adsorção é um fenômeno de superfície. A adsorção é importante em inúmeras situações no dia a dia, por exemplo, em filtros de carvão ativado e, na indústria, por exemplo, em catalisadores (CARVALHO, 2006).

Segundo Santos (2003), a adsorção é uma operação que consiste na retenção, à superfície de um sólido, de partículas líquidas ou gasosas (fluido), devido a uma atração entre as moléculas da superfície do adsorvente e as do fluido.

A quantidade de substância adsorvida na superfície decresce com o aumento da temperatura, já que todos os processos de adsorção são exotérmicos. A uma temperatura constante, a quantidade adsorvida aumenta com a concentração do adsorbato (em solução ou na fase gasosa) e a relação entre a quantidade adsorvida

(x) e a concentração (c) é conhecida como a isoterma de adsorção (BEBER *et al.*, 2006; COSTA *et al.*, 2007).

3 METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida no trabalho segue os itens a seguir:

- i. Empregou-se o método de planejamento fatorial de experimentos tecnológicos (CERRINI, 1992) a 2 níveis e 3 variáveis, que promove oito experimentos. Os parâmetros avaliados foram:
 - a) tempo de agitação;
 - b) massa do adsorvente;
 - c) volume da solução contendo o íon, de acordo com a Tabela 1;
- ii. Foram preparados os oito experimentos, um de cada vez, conforme a Tabela 3;
- iii. Em cada experimento da Tabela 3, as soluções foram preparadas em erlenmeyer de 125 mL, com o volume da solução contendo íons Cr(VI), bem como a massa do adsorvente ($\text{Nb}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e o tempo de agitação, conforme a Tabela 1 e a Tabela 2;
- iv. A solução de dicromato de potássio foi preparada em meio ácido sulfúrico 0,1 mol/litro, pois este meio favorece a não dissociação dos ânions dicromato $[(\text{Cr}_2\text{O}_7)^{2-}]$ em ânions cromato $[(\text{CrO}_4)^{2-}]$;
- v. As soluções preparadas em erlenmeyers foram submetidas à agitação em uma mesa de agitação (shaker), sob velocidade constante;
- vi. Cada experimento foi feito em triplicata;
- vii. Nos experimentos 1A, adicionou-se a solução de dicromato e completou-se para 30 mL, com a solução de H_2SO_4 0,1 mol/litro. Os experimentos 1B foram completados para 50 mL com a solução ácida.
- viii. As soluções foram filtradas e cada filtrado analisado em um espectrofotômetro de absorção na faixa do visível, para finalmente quantificar os íons adsorvidos;
- ix. A diferença entre a concentração de íons dicromato presentes na solução inicial (C_i) (conhecida) e a concentração de íons dicromato presentes ao final da reação (C_{eq}), assim teve-se a quantificação dos íons contendo Cr(VI) adsorvidos pelo óxido;

$$\% \text{Adsorvido} = \left(\frac{C_i - C_{eq}}{C_i} \right) \cdot 100 \quad \text{Equação 1}$$

- x. Para interpretação dos resultados foi utilizado um modelo estatístico;

- xi. Os resultados encontrados pelos dois estudantes foram comparados, permitindo avaliar as condições da melhor adsorção.

As Tabelas 1 e 2 apresentam as variáveis utilizadas no planejamento fatorial, cuja matriz de blocos está na Tabela 3.

Tabela 1: Experimento A - Variáveis e seus níveis estatísticos para aplicação no planejamento fatorial.

Variáveis	Código	Nível inferior (-)	Nível superior (+)
Massa do Trocador (mg)	A	500	1.500
Tempo de Agitação (min.)	B	20	40
Volume da Solução de $K_2Cr_2O_7$ (mL)	C	5	20

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 2: Experimento B - Variáveis e seus níveis estatísticos para aplicação no planejamento fatorial.

Variáveis	Código	Nível inferior (-)	Nível superior (+)
Massa do Trocador (mg)	A	2.000	4.000
Tempo de Agitação (min.)	B	30	60
Volume da Solução de $K_2Cr_2O_7$ (mL)	C	10	40

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 3: Matriz de bloco de 8 experimentos para o planejamento fatorial.

Experimentos	Variável - A	Variável - B	Variável - C	Notação
1	—	—	—	1
2	+	—	—	a
3	—	+	—	b
4	—	—	+	c
5	+	+	—	ab
6	+	—	+	ac
7	—	+	+	bc
8	+	+	+	abc

Fonte: Elaborada pelos autores.

Conforme apresentado no objetivo, este trabalho destina-se à investigação experimental do processo de adsorção entre o óxido de nióbio(V) hidratado e íons contendo cromo(VI). Portanto, a primeira fase de trabalho se deu com a preparação das soluções, requerendo a pesagem do trocador iônico, a mistura entre o trocador e a solução de dicromato de potássio e posteriormente a agitação.

Com objetivo de evitar possíveis erros de leitura, todas as amostras apresentadas no planejamento fatorial (Tabela 3) foram preparadas em três frascos. Assim, foram realizadas três leituras, onde é possível confirmar ou eliminar dados com eventuais comprometimentos. A Tabela 4 expõe como se procedeu a distribuições dos frascos utilizados no experimento 1 A e Tabela 5 do experimento 1B.

Tabela 4: Distribuição dos experimentos 1A

Distribuição - Experimento 1A				
Amostra	Frasco	Massa (mg)	Tempo de Agitação (min)	Solução de Dicromato (mL)
1	1	500	20	5
	1'	500	20	5
	1''	500	20	5
2	2	1500	20	5
	2'	1500	20	5
	2''	1500	20	5
3	3	500	40	5
	3'	500	40	5
	3''	500	40	5
4	4	500	20	20
	4'	500	20	20
	4''	500	20	20
5	5	1500	40	5
	5'	1500	40	5
	5''	1500	40	5
6	6	1500	20	20
	6'	1500	20	20
	6''	1500	20	20
7	7	500	40	20
	7'	500	40	20
	7''	500	40	20
8	8	1500	40	20
	8'	1500	40	20
	8''	1500	40	20

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 5: Distribuição do Experimento 1B

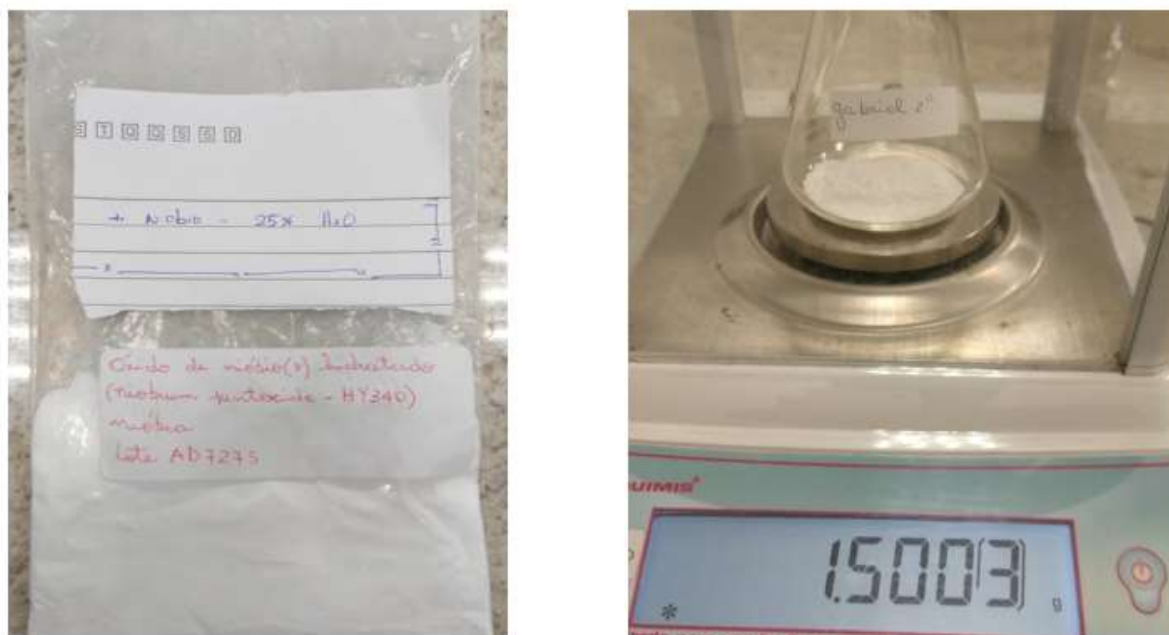
Distribuição - Experimento 1B				
Amostra	Frasco	Massa (mg)	Tempo de Agitação (min)	Solução de Dicromato (mL)
1	1	2000	30	10
	1'	2000	30	10
	1''	2000	30	10
2	2	4000	30	10
	2'	4000	30	10
	2''	4000	30	10
3	3	2000	60	10
	3'	2000	60	10
	3''	2000	60	10
4	4	2000	30	40
	4'	2000	30	40
	4''	2000	30	40
5	5	4000	60	10
	5'	4000	60	10
	5''	4000	60	10
6	6	4000	30	40
	6'	4000	30	40
	6''	4000	30	40
7	7	2000	60	40
	7'	2000	60	40
	7''	2000	60	40
8	8	4000	60	40
	8'	4000	60	40
	8''	4000	60	40

Fonte: Elaborada pelos autores.

Realizadas a distribuição dos materiais, iniciou-se o processo de pesagem do trocador iônico. Foi utilizada balança analítica Quimis - Q500B210C com precisão de 0,1 mg. O óxido de nióbio(V) hidratado utilizado encontra-se estado sólido, sendo sua granulometria extremamente fina, resultando em um pó branco e fino.

Para evitar perdas durante o processo de pesagem, a equipe decidiu introduzi-los em erlenmeyers de massa conhecida, assim a aferição da massa do trocador iônico deu-se tarando a balança com os frascos posicionados em sua célula de carga. Portanto, a pesagem ocorreu de forma direta na vidraria onde vai ocorrer a reação de adsorção.

Figura 1: Óxido de Nióbio(V) hidratado e pesagem em erlenmeyer.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Após a aferição da massa do trocado iônico e utilizando-se o mesmo recipiente de vidro - erlenmeyer foi adicionada a solução de dicromato de potássio ($K_2Cr_2O_7$) 0,02% preparada em meio H_2SO_4 0,1 mol/litro.

A preparação da solução dicromato de potássio em meio ácido proporciona a não dissociação dos ânions dicromato em cromato e, favorece a propriedade do óxido de nióbio trocar ânions em pH baixo.

A reação entre o óxido de nióbio hidratado e o dicromato de potássio deu-se com auxílio de mesa agitadora orbital com velocidade constante. Os tempos de agitação foram escolhidos com base no trabalho de Serafim (1994), naquela ocasião, os tempos de mistura alternavam entre 20 e 40 minutos e geraram adsorção de ordem de 50%. Portanto, neste trabalho o experimento 1A permaneceu com os tempos utilizados pela autora e o experimento 1B ampliou-os para 30 e 60 minutos.

Encerrada a agitação procedeu-se com a filtração (Figura 2) e inserção da solução filtrada em recipientes de vidro. A filtração auxilia na retenção de particulado em suspensão de óxido de nióbio com dicromato adsorvido (um sólido amarelo) e interromper as reações.

Figura 2: Filtração da suspensão resultante de cada reação de adsorção.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Após o processo de filtração, todos os filtros foram coletados e devidamente guardados para posterior análise. Os resíduos sólidos retidos nos papéis de filtro foram reservados, pois podem servir como objeto de estudos.

Finalizado o processo de adsorção das misturas, então foi necessário encontrar dados quantitativos do procedimento. A medição dar-se-á pela técnica de Espectrofotometria na faixa do visível.

A espectrofotometria é um método que estuda a interação da luz. Cada composto químico absorve, transmite ou reflete luz ao longo de um determinado intervalo de comprimento de onda. Desse modo, é possível quantificar substâncias químicas a partir da medição da absorção e transmissão de luz que atravessa a amostra.

Foram preparadas amostras padrão de dicromato de potássio nas seguintes proporções: 0, 1, 2, 3, 4 e 5 mL da solução do sal, e todas foram completadas para 30 mL em erlenmeyer, com a solução de ácido sulfúrico 0,1 mol/litro. Após a leitura da absorbância de todas as soluções padrões, traçou-se o gráfico Concentração X Absorbância.

A concentração molar (C_m) de cada da solução padrão foi calculada a partir da equação 4:

$$\text{Concentração molar: } C_m = \frac{N}{V} \quad \text{Equação 02}$$

$$\text{Temos que: } N = \frac{m}{M} \quad \text{Equação 03}$$

$$\text{Substituindo-se a equação 3 na equação 2 temos: } C_m = \frac{m}{MV} \quad \text{Equação 04}$$

Onde:

C_m = Concentração molar (Mol/L);

N = Quantidade de matéria (Mol);

m = Massa (g);

M = Massa molar (g/Mol);

V = Volume da solução (L)

$$M_{K_2Cr_2O_7} = (2 * Ma_K) + (2 * Ma_{Cr}) + (7 * Ma_O) \quad \text{Equação 05}$$

Sendo:

$M_{K_2Cr_2O_7}$ = Massa Molar de dicromato de potássio (g/mol);

Ma_K = Massa atômica molar de potássio (g/mol);

Ma_{Cr} = Massa atômica molar de cromo (g/mol);

Ma_O = Massa atômica molar de oxigênio (g/mol).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segunda a ficha técnica apresentada pela Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração – CBMM para o óxido de nióbio hidratado, o produto é classificado como NÃO PERIGOSO, segundo o sistema de classificação utilizado – Norma ABNT-NBR/2010. A mesma ficha apresentada a composição para o óxido hidratado, contendo 75,5% de água, que resulta na fórmula $Nb_2O_5 \cdot 4,6H_2O$.

De acordo com a Tabela Periódica, com as massas atômicas dos elementos determinou-se, pela Equação 5, a Massa Molar do dicromato de potássio como sendo 294,1846 g/mol . A concentração de cada solução padrão de $K_2Cr_2O_7$ obteve-se pela equação 4, e estão apresentadas na Tabela 6.

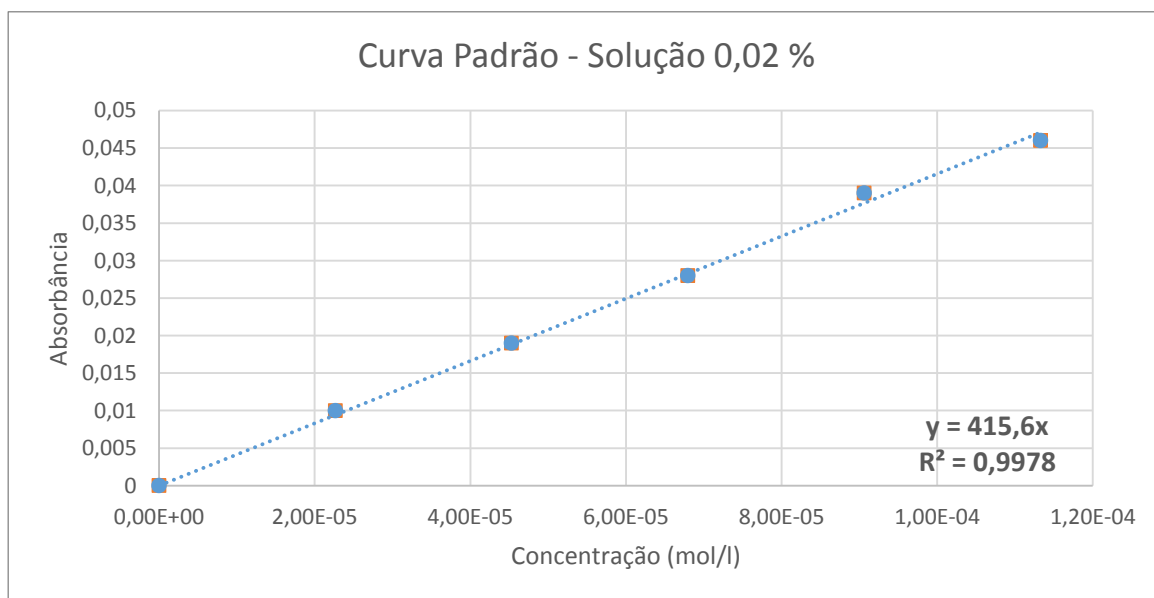
Tabela 6: Concentração, absorvância e transmitância das soluções padrão de dicromato de potássio - 0,02%

Solução Padrão - 0,02%			
Volume Dicromato (mL)	Concentração (mol/L)	Absorvância	Transmitância
0	0,00E+00	0,000	100
1	2,27E-05	0,010	96,4
2	4,53E-05	0,019	95,8
3	6,80E-05	0,028	93,6
4	9,06E-05	0,039	91,2
5	1,13E-04	0,046	89,9

Fonte: Elaborada pelos autores.

A curva padrão da Figura 3 foi traçada com os resultados da Tabela 6, com a finalidade de se obter a sua função inversa, que depois do processo de adsorção a incógnita será a nova concentração, ou seja, será a concentração final da solução de dicromato.

Figura 3: Gráfico da curva das soluções padrão de $K_2Cr_2O_7$ - 0,02%



Fonte: Elaborada pelos autores.

Destaca-se que, a curva padrão atende os limites dos dois experimentos (1A e 1B). Esperava-se obter um crescimento retilíneo, entretanto, foi possível a criação de uma linha de tendência com enquadramento ótimo. Assim, foi obtida a concentração final das soluções após a reação de adsorção e a filtração.

Para aferição da absorbância dos experimentos 1A e 1B foi fundamental a calibração do Espectrofotômetro, sendo ajustado para trabalhar em um comprimento de onda de máxima absorção de luz.

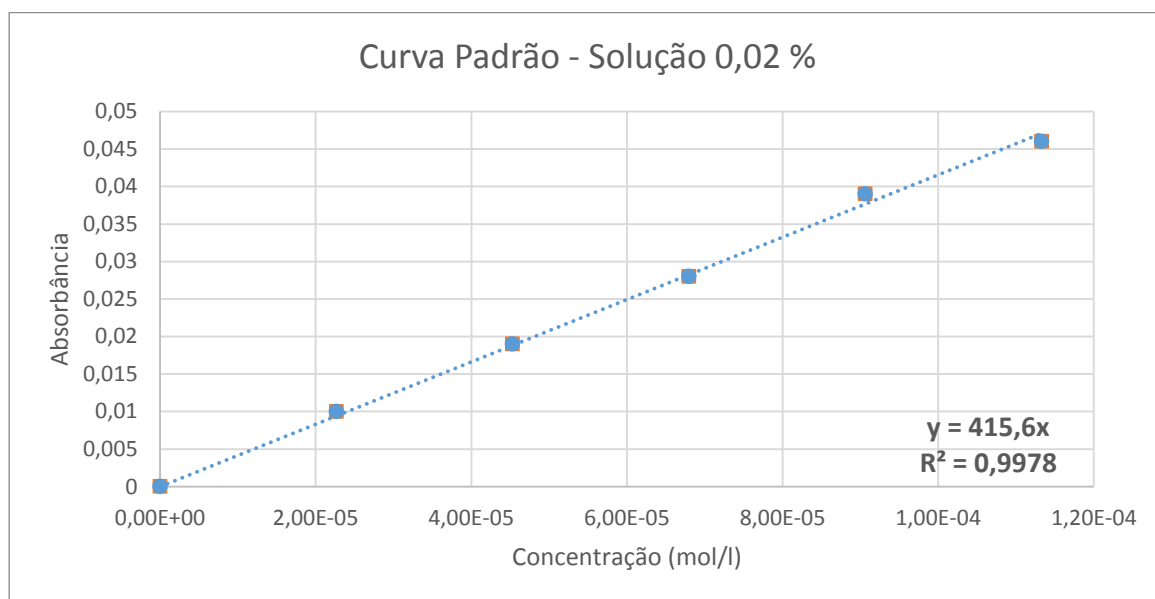
O equipamento utilizado foi o Espectrofotômetro Quimis modelo Q898DPT, o qual foi calibrado de acordo com o manual de instruções, cujos resultados a Tabela 7 apresenta e, a Figura 4 consolida os dados e expõe o ponto de interseção entre as duas curvas, apontando o comprimento de onda que deverá ser utilizado para medição dos experimentos 1A e 1B.

Tabela 7: Leituras para a calibração Espectrofotômetro

CURVA DE CALIBRAÇÃO - ESPECTROFOTÔMETRO							
Solução K ₂ Cr ₂ O ₇ - pH 12				Solução K ₂ Cr ₂ O ₇ - pH 2			
Absorbância				Absorbância			
Comprimento (λ)	Medida 1	Medida 2	Média	Comprimento (λ)	Medida 1	Medida 2	Média
434	0,450	0,446	0,448	434	0,299	0,299	0,299
436	0,419	0,421	0,420	436	0,304	0,303	0,304
438	0,395	0,392	0,394	438	0,310	0,309	0,310
440	0,371	0,375	0,373	440	0,316	0,315	0,316
442	0,352	0,351	0,352	442	0,321	0,322	0,322
444	0,358	0,360	0,359	444	0,373	0,357	0,365
446	0,437	0,436	0,437	446	0,464	0,454	0,459
448	0,247	0,250	0,249	448	0,303	0,327	0,315
450	0,174	0,177	0,176	450	0,245	0,247	0,246

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 4: Curva de calibração do Espectrofotômetro



Fonte: Elaborada pelos autores

De acordo com a interseção entres as curvas, o comprimento de onda utilizado para a leitura das absorbâncias dos experimentos 1A e 1B foi de 444 nm. A Tabela 8 apresenta as leituras de absorbância e transmitância realizadas para o experimento 1A e Tabela 9 para o experimento 1B.

Tabela 8: Absorbância e Transmitância - Experimento 1A

ABSORBÂNCIA E TRANSMITÂNCIA - EXPERIMENTO 1A		
Solução K₂Cr₂O₇ 0,02% em meio H₂SO₄ 0,1 mol/litro		Comprimento de onda $\lambda = 444$ nm
Amostra	Absorbância	Transmitância
1	1	0,046
	1'	0,044
	1''	0,049
	Média	0,046
	Desvio Padrão	0,003
2	2	0,041
	2'	0,041
	2''	0,043
	Média	0,042
	Desvio Padrão	0,001
3	3	0,031
	3'	0,030
	3''	0,033
	Média	0,031
	Desvio Padrão	0,002
4	4	0,120
	4'	0,124
	4''	0,122
	Média	0,122
	Desvio Padrão	0,002
5	5	0,035
	5'	0,038
	5''	0,055
	Média	0,043
	Desvio Padrão	0,011
6	6	0,060
	6'	0,066
	6''	0,074
	Média	0,067
	Desvio Padrão	0,007
7	7	0,123
	7'	0,122
	7''	0,107
	Média	0,117
	Desvio Padrão	0,009
8	8	0,070
	8'	0,075
	8''	0,075
	Média	0,073
	Desvio Padrão	0,003

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 9: Absorbância e Transmittância - Experimento 1B

ABSORBÂNCIA E TRANSMITÂNCIA - EXPERIMENTO 1B		
Solução K₂Cr₂O₇ 0,02% em meio H₂SO₄ 0,1 mol/litro		Comprimento de onda $\lambda = 444$ nm
Amostra	Absorbância	Transmittância
1	1	0,042
	1'	0,044
	1''	0,041
	Média	0,042
	Desvio Padrão	0,002
2	2	0,038
	2'	0,040
	2''	0,033
	Média	0,037
	Desvio Padrão	0,004
3	3	0,039
	3'	0,052
	3''	0,038
	Média	0,043
	Desvio Padrão	0,008
4	4	0,106
	4'	0,104
	4''	0,100
	Média	0,103
	Desvio Padrão	0,003
5	5	0,036
	5'	0,029
	5''	0,039
	Média	0,035
	Desvio Padrão	0,005
6	6	-----
	6'	0,065
	6''	0,062
	Média	0,064
	Desvio Padrão	0,002
7	7	0,104
	7'	0,104
	7''	0,101
	Média	0,103
	Desvio Padrão	0,002
8	8	-----
	8'	0,050
	8''	0,064
	Média	0,057
	Desvio Padrão	0,010

Fonte: Elaborada pelos autores.

Realizaram-se as reações em triplicata para cada experimento do planejamento fatorial. Com as leituras obtidas no Espectrofotômetro para cada reação foi possível obter a absorvância e transmitância média de cada experimento proposto no planejamento fatorial. Com a absorvância média de cada experimento, utilizou-se a equação encontrada na curva padrão, Gráfico 3, e obteve-se a concentração final de cada experimento após a adsorção e pode-se calcular também o percentual de adsorção dos íons dicromato.

As Tabelas 10 e 11 apresentam os resultados encontrados para a concentração final calculadas pela Equação 1.

Tabela 10: Resultados - Experimentos 1A

Adsorção - Experimento 1A (Solução 0,02%)								
Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8
Volume (mL)	5	5	5	20	5	20	20	20
Conc. inicial - C_i (mol/L)	1,13E-04	1,13E-04	1,13E-04	4,53E-04	1,13E-04	4,53E-04	4,53E-04	4,53E-04
Absorbância	0,046	0,042	0,031	0,122	0,043	0,067	0,117	0,073
Conc. Final - C_{eq} (mol/L)	1,11E-04	1,00E-04	7,54E-05	2,94E-04	1,03E-04	1,60E-04	2,82E-04	1,76E-04
Diferença	2%	12%	33%	35%	9%	65%	38%	61%

Fonte: Elaborada pelos autores.

Tabela 11: Resultados - Experimentos 1B

Adsorção - Experimento 1B (Solução 0,02%)								
Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8
Volume (mL)	10	10	10	40	10	40	40	40
Conc. inicial - C_i (mol/L)	1,36E-04	1,36E-04	1,36E-04	5,44E-04	1,36E-04	5,44E-04	5,44E-04	5,44E-04
Absorbância	0,042	0,037	0,043	0,103	0,035	0,064	0,103	0,057
Conc. Final - C_{eq} (mol/L)	1,02E-04	8,90E-05	1,03E-04	2,49E-04	8,34E-05	1,53E-04	2,48E-04	1,37E-04
Diferença (%)	25%	35%	24%	54%	39%	72%	54%	75%

Fonte: Elaborada pelos autores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os dados mostrados nas Tabelas 10 e 11, observa-se que os melhores resultados foram atingidos com o experimento 8 – 1B do planejamento fatorial, com a melhor adsorção de 75% dos íons de dicromato. Neste experimento utilizou-se 4000 mg (4,0 g) do trocador, 40 mL de solução de dicromato de potássio 0,02% e tempo de agitação de 60 min.

Percebe-se também, que a adsorção dos íons de dicromato pelo óxido de nióbio(V) hidratado foi mais satisfatória nos experimentos 1B, onde se utilizou maiores massas do trocador que nos experimentos 1A. Observou-se uma exceção na amostra 3 – 1B, que se obteve um valor inferior a amostra 3 do experimento 1A. Verificou-se que aumentando a massa do trocador, obtém-se um significativo acréscimo na porcentagem de aníons adsorvidos.

Vale destacar que, com base no trabalho de Serafim (1994), foi possível observar que o fato de usar o óxido de nióbio(V) hidratado de forma direta, é mais eficiente na adsorção dos íons de dicromato. No trabalho de Serafim (1994) foi realizado um processo de reprecipitação a partir da fusão alcalina do óxido de nióbio, procedimento que gerou a formação de subprodutos, reduzindo consideravelmente a eficiência da adsorção.

Diante do exposto, ficou comprovada a metodologia proposta nesta pesquisa, de utilizar diretamente o óxido de nióbio(V) hidratado no processo de adsorção de íons dicromato de meios aquosos. Este procedimento mostrou-se vantajoso, pois além de proporcionar uma maior adsorção, ainda diminui o número e etapas e de reagentes envolvidos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEITUNO, J. **Ministério inspeciona atendimento aos contaminados por chumbo.** O ESTADO DE SÃO PAULO, 2002.
- BARCELOS. **Nióbio, o metal que só o Brasil fornece ao mundo está no Amazonas.** Disponível em: <<https://barcelosnanet.com/niobio-o-metal-que-so-o-brasil-fornece-ao-mundo-esta-no-amazonas>> Acesso em: 4 maio de 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2.914** de 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 12 de Agosto de 2018.
- BAIRD, C. **Química Ambiental.** 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. p 685.
- BEBER – MENDONZA, M. S.; RAMOS, R. L.; DAVILLA, P. A.; BARRON, J. M.; FLORES, P. E. D. **Effect of pH and temperature on the ion-exchange isotherm of Cd(II) and Pb(II) on clinoptilolite.** Journal of Chemical Technology and Biotechnology, v. 81, n. 6, pp. 966-973, 2006.
- BIANCHINI, L.; BARENHO, P.; GARCIA, T. **Contaminação ambiental por metais pesados.** São Paulo: Colégio Marista São Francisco, 16 p., 2007.
- CBMM - **Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração.** Disponível em: <<http://www.cbmm.com.br>>. Acesso em: 4 maio 2017.
- CARVALHO, J. C. **Diferentes interações entre moléculas.** Paraná: Departamento de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia. Universidade Federal do Paraná. 2006.
- CERRINI, R.; BOAS, V. **La importância del metodo en la investigacion tecnológica.** CETEM/CNPq, 1992.
- CHEIS, D. Os danos que o Cromo Hexavalente pode causar à saúde. *In*: CHEIS, Daiana. **Os danos que o Cromo Hexavalente pode causar à saúde.** [S. l.]: Revista TAE - Especializada em tratamento de água e afluentes, 4 dez. 2013. Disponível em: <http://www.revistatae.com.br/6928-noticias>. Acesso em: 12 ago. 2019.
- CLEARFIELD, A. **Inorganic ion exchange materials.** Flórida: CRC Press – Boca Raton, p. 163, 1982.
- COSTA, S.; ZOCHE, J. J. C.; SOUZA, P. Z. **Absorção de Metais Pesados (Zn e Pb) por Axonopus obtusifolius (Raddi) em Áreas Degradadas pela Mineração de Carvão.** SC, Brasil. Porto Alegre: Revista Brasileira de Biociências, v. 5, supl. 1, p. 795-797, 2007.

- EGOROV, Y. V.; SUKHAREV, Y. I.; LYUBIMOV, E. I.; KRYLOV, E. I. **Hidrated niobium pentoxide as an ion exchanging amphotite**. Izv. Akad. Nauk SSSR, Neorg. Mater., v. 7, p. 15, 1967.
- JIMENEZ, R. S.; DAL BOSCO, S. M.; CARVALHO, W. A. **Química Nova**, 27(5), 2004.
- OZDEMIR, G.; *et al.* **Biosorption of chromium(VI), cadmium(II) and copper(II) by Pantotea sp.** TEM18, Chemical Engineering Journal, v. 12, p. 249-253, 2004.
- QUIMLAB soluções em química. Disponível em: <<http://www.quimlab.com.br/guiadoselementos/cromo.htm>> Acesso em: 4 maio 2018.
- QURESH, M.; VARSHNEY, K. G. **Inorganic ion exchangers in chemical analysis**. Boston: CRC Press – Boca Raton Ann Arbor, p. 28, 1991.
- SALGADO, P. E. T. **Toxicologia dos metais**. In: OGA, S. Fundamentos de toxicologia. São Paulo, cap. 3.2, p. 154-172, 1996.
- SANTOS, M. A. S. **Isoterma de Adsorção**. Santa Maria: Departamento de Física. Universidade Federal de Santa Maria. 2003.
- SERAFIM, M. J. S. **Obtenção e caracterização do hidróxido de nióbio(V) como trocador iônico**. Faculdade de Engenharia Química de Lorena - FAENQUIL, Departamento de Materiais – DEMAR, Lorena – São Paulo, p 1-6, 28 e 32, 1994.
- SILVA, G. L. P.; SILVA, M. L. C. P.; CAETANO, T. Mater. Res., v. 5, p. 149, 2002.
- SILVA, M. L. C. P.; SILVA, G.L.P.; VILLELA, D.N. Mater. Res., v. 5, p. 71, 2002.
- SILVA, M. L. C. P.; MIGUEL, I. M.; SILVA, G. L. P. J. Therm. Anal. Calorim., v. 71, p. 493, 2003.
- SILVA, J. B.; RODRIGUES, J. A. J. **Síntese, caracterização e avaliação de compostos de nióbio como catalisador ácido em reação modelo**. São José dos Campos: INEP, p. 14-23, 2007.
- SOARES, M. **Nióbio: dados básicos**. p. 29, 2004.
- SOUZA, R. S.; CARVALHO, S. M. L.; JÚNIOR, M. R. L. G.; SENA, R. S. F. **Adsorção de cromo(VI) por carvão ativado granular de soluções diluídas utilizando um sistema batelada sob pH controlado**. Acta Amazônica, vol. 39(3): 661 – 668, 2009.
- TAGLIAFERRO, G. V.; SILVA, M. L. C. P. **Estudo de variáveis no processo de preparação do óxido de nióbio(V) hidratado para utilização em troca iônica**. p. 14, 2003.
- TAGLIAFERRO, G. V.; SILVA, M. L. C. P. **Influência do agente precipitante na preparação do oxido de nióbio(V) hidratado pelo método de precipitação em solução homogênea**. São Paulo: FAENQUIL, p. 1, 2004.

TAGLIAFERRO, G. V.; SILVA, M. L. C. P.; SILVA, G. L. J. P. *Química Nova*, v. 2, p. 28, 2005.

TAGLIAFERRO, G. V.; PEREIRA, P. H. F.; RODRIGUES, L. A.; SILVA, M. L. C. P. **Adsorção de Chumbo, Cádmio e Prata em Óxido de Nióbio(V) Hidratado Preparado pelo Método da Precipitação em Solução Homogênea.** *Química Nova*, vol. XY, n. 0, p. 1-5, 2010.

TOLEDO, T. V. *et al.* *Química Nova*, vol. 36(3), São Paulo, 2013.

VESELEY, V.; PEKAREK, V. **Synthetic inorganic ion-exchangers – I.** *Talanta*, v. 19, p. 62 e 219, 1972.

VESELY, V.; Pekarek, V. **Synthetic inorganic ion-exchangers – II,** *Talanta*, 19, 1245, 1972.