

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E
TECNOLOGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CÂMPUS JARAGUÁ DO SUL - CENTRO
CURSO TÉCNICO EM QUÍMICA**

ANA GABRIELLA EING TOREZIN
ÉRIKA POLIDORO JOANELA
GIOVANA RAITZ
JOÃO PAULO WOLF HOFFMANN
MONIQUE CORREIA ZAPPELLA
RAFAEL PEREIRA
YCARO SCHMIDT

**Avaliação da biomassa da casca de abacaxi como adsorvente na remoção de
Cr (VI) em leito fixo**

Jaraguá do Sul

2024

ANA GABRIELLA EING TOREZIN
ÉRIKA POLIDORO JOANELA
GIOVANA RAITZ
JOÃO PAULO WOLF HOFFMANN
MONIQUE CORREIA ZAPPELLA
RAFAEL PEREIRA
YCARO SCHMIDT

**Avaliação da biomassa da casca de abacaxi como adsorvente na remoção de
Cr (VI) em leito fixo**

Projeto de pesquisa desenvolvido no programa Conectando Saberes do Curso Técnico em Química, modalidade integrado ao Ensino Médio, do Instituto Federal de Santa Catarina, no Câmpus Jaraguá do Sul – Centro, a fim de relacionar-se com as unidades curriculares, e também como base condutora à pesquisa.

Orientador: Fernando Manzotti de Souza

Coordenadora: Ana Paula Aparecida Duarte Souza

Jaraguá do Sul

2024

SUMÁRIO

1 TEMA.....	3
2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	3
3 PROBLEMA DE PESQUISA.....	3
4 HIPÓTESES.....	3
5 OBJETIVOS.....	4
5.1 GERAL.....	4
5.2 ESPECÍFICOS.....	4
6 JUSTIFICATIVA.....	4
7 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
7.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DOS PROCESSOS DE ADSORÇÃO.....	6
7.1.1 Isotermas de Adsorção.....	7
7.1.2 Adsorção em batelada e de leito fixo.....	8
7.1.3 Materiais adsorventes.....	9
7.2 TRATAMENTO DE CASCAS UTILIZADAS COMO BIOSSORVENTES.....	10
7.3 METAIS PESADOS EM EFLUENTES LABORATORIAIS.....	11
7.3.1 Cromo Hexavalente.....	12
8 MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
8.1 TRATAMENTO DA CASCA DO ABACAXI.....	15
8.2 PREPARAÇÃO DO ADSORVATO.....	15
8.3 REUSO DO MATERIAL ADSORVENTE EM CICLOS DE ADSORÇÃO E DESSORÇÃO.....	16
9 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO.....	18
REFERÊNCIAS.....	19

1 TEMA

A eficácia da adsorção de metais pesados do resíduo laboratorial, a partir do uso da biomassa de casca de abacaxi (*Ananas comosus*) como um adsorvente de baixo custo.

2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Utilizar a casca do abacaxi com o intuito de bioadsorver metais pesados identificados em efluentes laboratoriais químicos visando contribuir assim para uma alternativa menos custosa e destinação mais nobre para resíduos orgânicos.

3 PROBLEMA DE PESQUISA

Tendo em vista a ideia de sustentabilidade os resíduos orgânicos, tais como, cascas e sementes podem ser descartados na natureza de forma inadequada como também utilizados como adubo. É interessante destacar que esses materiais podem possuir grupos funcionais específicos como, fenóis, álcoois e ácidos carboxílicos, acarretando assim compatibilidade desses resíduos orgânicos para outros tipos de reaproveitamento.

Partindo do pressuposto das possibilidades empregadas para a destinação correta da casca de abacaxi para um método adsorvente de metais pesados, o projeto sugere a seguinte pergunta problema: **É possível adsorver o cromo hexavalente, utilizando a biomassa da casca de abacaxi como adsorvente, de forma que o material orgânico apresente uma alta capacidade de remoção desses íons poluentes?**

4 HIPÓTESES

- 1) A utilização da casca do abacaxi como bioadsorvente para a adsorção de metais pesados é uma alternativa para uma aplicabilidade mais nobre do resíduo orgânico.
- 2) O bioadsorvente apresenta uma alta eficiência para a remoção de metais pesados, tal como o cromo hexavalente.

- 3) O processo de adsorção será mais eficaz ao tratar o bioissorvente quimicamente pelo método básico ou ácido.
- 4) É possível fazer a dessorção do adsorvato visando a reutilização do adsorvente, aumentando o seu ciclo de vida.

5 OBJETIVOS

Nos subtópicos abaixo, serão descritos os objetivos gerais e específicos esperados no desenvolvimento do projeto.

5.1 GERAL

Utilização da casca de abacaxi para adsorver cromo hexavalente de efluentes sintéticos, com a finalidade de obter, além de um descarte mais nobre para o resíduo orgânico, averiguar se ele possui capacidade de remover metais pesados como o cromo (VI).

5.2 ESPECÍFICOS

- Fazer uso da casca do abacaxi como um bioissorvente a fim de reaproveitar o material.
- Aplicar o método de adsorção em leito fixo variando a vazão para investigar a capacidade de adsorção do sólido adsorvente escolhido para o trabalho.
- Realizar ensaios com diferentes concentrações da solução aquosa do cromo hexavalente.
- Estudar ciclos de adsorção/dessorção com intuito de estimar o ciclo de vida do material.

6 JUSTIFICATIVA

A partir da percepção prévia do potencial uso da casca de abacaxi como meio adsorvente, manifestou-se a iniciativa de reaproveitar o material orgânico a fim de adsorver o cromo hexavalente identificado em efluente laboratorial químico.

Visto que, há uma gama de metais pesados presentes em quantidades traço no resíduo descartado, são poluentes de risco e causam a contaminação das vias hidrográficas. Dessa maneira, há necessidade de um descarte adequado e sustentável da biomassa para aplicação na remoção de metais tóxicos, o que se torna um ponto interessante de estudo (Ribeiro, *et al.*, 2013).

Com essa finalidade, buscamos uma forma alternativa de adsorção usando a biomassa natural da casca do abacaxi, direcionando-a a um fim nobre e menos custoso. Fazendo com que, além de um modo de descarte sustentável, seja possível o estímulo e o conhecimento dos alunos nas práticas laboratoriais que são propostas no projeto, trazendo assim um maior contato com a química e suas aplicações no cotidiano. Os metais pesados são amplamente encontrados em laboratórios químicos e podem contribuir para grandes problemas ambientais. Assim, além de reutilizar a biomassa como adsorvente, podemos tratá-la e redirecionar o metal recuperado (Cromo VI) pelos processos para outros reaproveitamentos.

Tendo em vista algo novo e diferenciado dos demais trabalhos, é de interesse para o projeto trazer a adsorção por um método ainda não utilizado, como o de leito fixo na remoção do cromo hexavalente utilizando a casca do abacaxi como adsorvente.

7 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O processo de adsorção é uma técnica amplamente utilizada para remover impurezas indesejadas de soluções, ou substâncias que serão descartadas. Nesse processo, um componente líquido ou gasoso se adere à superfície de um sólido, sendo respectivamente, o adsorvato e o segundo, adsorvente.

7.1 PRINCÍPIOS BÁSICOS DOS PROCESSOS DE ADSORÇÃO

A adsorção é um processo físico-químico caracterizado pela transferência de massa. Temos duas espécies associadas: o adsorvato, sendo a substância que será separada do fluido (gases ou líquidos) e ficará acumulada na superfície do sólido. O adsorvente é o material que terá o acúmulo dessa substância (Ruthven, 1984 *apud* Nascimento *et al.*, 2020).

Há três mecanismos distintos para o processo de separação por adsorção: o mecanismo estérico, os de equilíbrio e os de cinética. No mecanismo estérico, o sólido com aspecto poroso tem poros de dimensão que permitem a entrada de moléculas específicas, não permitindo outras o que garante alta seletividade. No caso dos mecanismos de equilíbrio, existem características de variados sólidos para se adequar a diferentes espécies de adsorbatos, geralmente adsorvidos a outros compostos. Por fim, no que diz a respeito dos mecanismos de cinética, é fundamentado nas diferentes difusividades da substância com poros adsorventes (Do, 1998 *apud* Nascimento *et al.*, 2020).

Conforme Abas (2013), a eficiência no processo de adsorção é influenciada por diversos fatores, porém principalmente pela polaridade do contaminante e a natureza da solução em que está, além do tipo de adsorvente utilizado. Em outras palavras, podemos classificar a adsorção segundo as forças atrativas presentes entre a superfície do adsorvente e a espécie que está sendo adsorvida. Essas intensidades são classificadas em: a adsorção física, ou fisissorção, sendo um fenômeno reversível, é predominada pelas forças intermoleculares (forças de Van Der Waals), enquanto a adsorção química, ou quimissorção, é um fenômeno irreversível, resultado da ligação química entre o sólido e a substância adsorvida, também conhecida como adsorção ativada.

Continuando sobre os fatores que influenciam a eficácia da adsorção, eles podem ir desde as características físicas e químicas do adsorvente, concentração do adsorvato na solução, até a temperatura, pH e o tempo de contato. Dentre todos, o pH é o fator mais influente, pois irá controlar a distribuição de carga na superfície do adsorvente entre os íons do adsorvato. Para isto, também deve ser considerado o ponto de carga zero (pH_{pcz}), porque irá limitar o pH do adsorvente, sendo que o pH é a carga na superfície sólida do adsorvente determinada pela protonação e desprotonação dos íons do adsorvatos. Já a densidade da carga da superfície dependerá dos íons metálicos que reagem diretamente com a superfície do adsorvente. Como exemplo, se o valor do pH da solução for maior que o pH_{pcz} , a carga da superfície do adsorvente será carregada negativamente e vice-versa. Sendo assim, o aumento do pH em um determinado limite pode aumentar a taxa de adsorção, enquanto um aumento maior pode diminuir, uma vez que certos íons do adsorvato, em uma determinada faixa, tendem a não ser afetados pelo pH (Abas, 2013).

7.1.1 Isotermas de Adsorção

As isotermas de adsorção são utilizadas para explicar o mecanismo da interação entre os íons do adsorvato na superfície do adsorvente. Os modelos mais afamados são as isotermas de Langmuir e Freundlich (Abas, 2013). Para a isoterma de Langmuir, ela se torna eficaz para uma adsorção em monocamada que contém um determinado número de sítios, ou seja, as moléculas adsorvidas se ligam na superfície do adsorvente em sítios bem definidos e localizados. Cada um dos sítios ativos pode conter uma monocamada, e por fim a energia de cada íon adsorvido é a igual em todos os sítios da superfície (Ciola, 1981 *apud* Claudino, 2003). A equação que representa a isoterma de Langmuir (equação 1):

$$q = \frac{q_{\text{max}} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1)$$

onde:

q = quantidade do soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio (mg g^{-1})

q_{max} = capacidade máxima de adsorção (mg g^{-1})

K_L = constante de interação adsorvato/adsorvente (L mg^{-1})

C_e = concentração do adsorvato no equilíbrio (mg L^{-1})

Já a isoterma de Freundlich é usada para energias superficiais heterogêneas, com interações que ocorrem entre as moléculas adsorvidas e não se limitam a formar uma monocamada. Comumente utilizada para adsorções de compostos orgânicos e inorgânicos em diferentes adsorventes (Abas, 2013; Claudino, 2003). A equação que representa o modelo de Freundlich (equação 2):

$$q = K_F C_e^{\frac{1}{n}}, \text{ ou linearizada: } \log q = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2)$$

onde:

q = quantidade de adsorção no equilíbrio (mg g^{-1})

C_e = concentração do adsorvato no equilíbrio (mg L^{-1})

$1/n$ = constante relacionada à heterogeneidade da superfície;

K_F = constante de capacidade de adsorção de Freundlich ($\text{mg g}^{-1} (\text{mg L}^{-1})^{-1/n}$)

7.1.2 Adsorção em batelada e de leito fixo

De acordo com por Silva (2006 *apud* Moreira, 2008), a adsorção em batelada, ou também chamados de banho finito, são processos descontínuos, são conduzidos em intervalos de tempo que já estão definidos, através de operações que consistem em propriedades variando com o tempo.

De acordo com Nascimento *et al.* (2020) os experimentos em batelada são mais simples de serem realizados, no qual é possível obter importantes informações para um experimento em coluna ou escala piloto. Este tipo de processo é mais utilizado para pequenas quantidades, e a decisão de manter um modo de adsorção batelada ou coluna em uma escala industrial está associada ao volume de solução a ser tratada e ao tempo de contato necessário ou disponível para o processo. Para grandes volumes e pequenos tempos de contato (hidráulico), o sistema em coluna é mais adequado. Um sistema de agitação em batelada, para grandes volumes, causa aumento demasiado nos custos de implementação.

No processo de adsorção em coluna de leito fixo, o adsorvato será previamente tratado e posteriormente o efluente a ser tratado irá passar por meio de um leito empacotado a uma taxa de fluxo constante. A velocidade de escoamento do

líquido pela coluna, a zona de transferência de massa, a capacidade de adsorção e o tempo de permanência são avaliados para determinar as melhores condições operacionais para assegurar a máxima eficiência do processo de separação (Treybal, 1980; Geankopolis, 1998 *apud* Carpiné, 2011).

Enquanto batelada são considerados como processos descontínuos, a adsorção em leito fixo consistem e são considerados como processos contínuos, cujo se envolvem fluxo contínuo de massa (sendo o adsorvato) através de um sistema, a uma taxa constante em relação ao tempo em qualquer ponto desse sistema, sendo frequentemente usado em processos em larga escala. Essa técnica é considerada como a mais econômica, e consiste basicamente em passar a solução contendo o adsorvato em presença de um leito, consistindo em sólidos adsorventes (Treybal, 1955 *apud* Nascimento *et al.*, 2020).

De uma forma mais geral, os estudo desse tipo de adsorção são realizados num sistema constituído basicamente em passar de um recipiente contendo a solução a ser tratada, uma bomba peristáltica para controle de vazão e uma coluna preenchida com o material adsorvente e malhas nas extremidades da coluna para evitar flutuações do material (Nascimento *et al.*, 2020).

7.1.3 Materiais adsorventes

Para realizar os processos de adsorção descritos acima são empregados diferentes tipos de materiais adsorventes. Um dos mais utilizados atualmente é o carvão ativado (CA), largamente usado no tratamento de efluentes para adsorção em fase líquida de moléculas orgânicas que causam sabor, odor e toxicidade.

A ativação do carvão visa aumentar sua porosidade interna, que depois desse processo, apresenta estrutura semelhante a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores e assim sucessivamente. Esta porosidade diferenciada é classificada segundo o tamanho, em macro, meso e microporosidades. A extensa superfície interna localizada na rede de poros estreitos é o diferencial do material, que junto ao tamanho e forma dos poros, influenciam na seletividade da adsorção através do efeito de peneira molecular (Fernandes, 2021). O carvão ativado, além de adsorvente, também pode ser empregado como catalisador ou suporte de catalisador. Suas vantagens são a alta eficiência para a adsorção de compostos específicos e o baixo custo, uma vez que os carvões ativados de origem vegetal

apresentam maior disponibilidade e menor preço no mercado nacional do que quando comparados com os carvões ativados de origem mineral, geralmente importados.

Se tratando de bioissorventes, restos de matéria orgânica como cascas de frutas e bagaço de cana de açúcar têm sido investigadas como adsorvente e apresentam alta eficiência na remoção de íons metálicos, tais como chumbo (II) e cromo (VI), além de corantes e agroquímicos (Ahmaruzzaman, 2011; Alfredo *et al.*, 2015 *apud* Lima *et al.*, 2020).

As biomassas são uma alternativa de baixo custo em comparação com demais agentes adsorventes. Visando que, por muitas vezes a matéria orgânica é descartada incorretamente ou não possui um destino determinado, seu uso como adsorvente é um meio de destiná-la a um fim nobre e barateado.

7.2 TRATAMENTO DE CASCAS UTILIZADAS COMO BIOSSORVENTES

O aproveitamento dos resíduos descartados durante o processamento dos materiais biológicos utilizados, como as cascas, reduzem os danos causados ao meio ambiente causados pelo descarte inadequado dos resíduos e agregam valor ao material que até então possuem pouco ou nenhum valor, também, podem ser reutilizados para a produção de novos produtos com características que os valorize. (Viganó, 2012).

As cascas de frutas, tendem a possuir características em comum, dada pelas semelhanças dos compostos, que têm o carbono como seu átomo principal. Na química orgânica é possível denominar grupos químicos, especificamente, temos grupos principais encontrados em vegetais, frutas e raízes, sendo húmicas, lignina e a celulose. (De Sá, Reichert e De Oliveira, 2020)

Partindo de semelhanças entre os compostos, é possível encontrar grupos funcionais que são de grande importância para o método adsorativo, que são os principais grupos funcionais, sendo eles, o ácido carboxílico, álcool e o fenil.

Ácidos carboxílicos possuem ao mínimo um grupo carboxila ($\text{O}=\text{C}-\text{OH}$) ligado ao carbono principal, considerados ácidos fracos e são capazes de formar ligações do tipo de ligação de hidrogênio entre si, sendo assim, são altamente polares e solúveis em água. O grupo dos álcoois têm ligado ao carbono principal saturado uma hidroxila ($-\text{OH}$) que por si traz características de polaridade negativa, pois o

oxigênio tende a atrair os elétrons, assim tornando um composto divergente, podendo variar a sua solubilidade de acordo com o tamanho da cadeia proposta. Os fenóis são caracterizados por um grupo hidroxila ligado a um anel aromático, tendo assim um caráter mais ácido que os álcoois, isso se explica pela ressonância do anel aromático, que por si, ajuda a estabilizar a carga negativa formada (Rodrigues, 2019).

Podemos encontrar diversas pesquisas voltadas ao aproveitamento de materiais orgânicos. Souza, *et al.* 2015 avaliaram o potencial da casca de laranja como bioissorvente alternativo para remoção de metais pesados em águas residuais, e seus resultados, mostraram que este bioissorvente, apresenta elevada eficiência para a remoção de diferentes metais, como Zn, Ni, Cu, Cr, Cd, Co e Pb, que demonstra remoção igual semelhante ao carvão ativado comercial. Rodrigues (2019) utilizou a casca do abacaxi para remoção de agroquímicos em matrizes aquosas. Neste estudo, foi realizada a modificação química das amostras, onde foram utilizadas as biomassas das cascas do abacaxi em contato com solução ácida, solução básica e *in natura*. Os resultados foram de que os melhores parâmetros de adsorção para a casca de abacaxi são utilizando uma concentração de 4 mg.L⁻¹ em pH 10 e massa constante de 40 mg alcalinizada, também, que o tempo de contato é um fator determinante para a capacidade de adsorção.

Para tratar efluentes contaminados por corantes sintéticos e metais pesados, Dacera, Babel e Parkpian (2009) conduziram um estudo que utilizou cascas de abacaxi para produzir um líquido rico em ácido cítrico. Esse líquido foi aplicado no processo de lixiviação de íons metálicos, incluindo cádmio, cobre, cromo, chumbo, níquel e zinco. O tratamento, realizado com extratantes sob condições ótimas, resultou em uma redução significativa dos teores de metais pesados e agentes patogênicos na lama tratada.

7.3 METAIS PESADOS EM EFLUENTES LABORATORIAIS

Atualmente o ser humano vem se preocupando cada vez mais com o meio ambiente, tentando diminuir a poluição e procurando técnicas mais sustentáveis de produção. Apesar dessa mobilização, algumas instituições de pesquisa que utilizam laboratórios de química ainda não realizam o descarte correto dos resíduos utilizados em laboratório, o qual muitas vezes acaba em esgotos ou até mesmo no

lixo doméstico (Santos e Benigno, 2010). Sabe-se que existem dois tipos de resíduos laboratoriais: os ativos (fazem parte do dia a dia do laboratório) e os passivos (todos os descartes estocados e aguardando destinação final) (Jardim, 1998). Em ambos os casos podem existir metais pesados os quais dependendo da concentração, podem ser tóxicos para seres humanos, animais, plantas entre outros. Isso torna essas práticas ainda mais perigosas para o meio ambiente, já que esses efluentes podem acabar sendo ingeridos por animais ou até mesmo acabando em solos de plantio. No fim, isso acaba por afetar o próprio ser humano, e exatamente por esses motivos é de extrema importância o tratamento dos descartes de laboratório. E para que o descarte possa ser feito de forma adequada, existem algumas leis a serem seguidas, como: CONAMA nº 358/2005, que dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde (Brasil, 2005); CONAMA nº 430/11, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes (Brasil, 2011); NBR 13.221, dispõe os requisitos para o transporte terrestre de resíduos (Brasil, 2021); entre outros.

Como dito anteriormente, tais resíduos podem conter metais pesados, sendo que entre eles os mais comuns são: o alumínio, cádmio, cálcio, cromo, cobalto, cobre, chumbo, ferro, mercúrio, magnésio, manganês, níquel, potássio, sódio, zinco, entre outros (Borges, 2015). De forma geral as características são muito parecidas de metal para metal, como a alta densidade, alta reatividade, capacidade de bioacumulação e alta toxicidade. O metal escolhido foi o cromo Hexavalente (VI), um metal muito conhecido por fazer mal aos seres humanos.

7.3.1 Cromo Hexavalente

O cromo se destaca muito quando falamos da importância do tratamento de efluentes, pois ele é muito usado em indústrias, como de cimento, aço e ligas, entre outros. Ele é comumente encontrado em duas formas na natureza: cromo (III) e cromo (VI), sendo que a toxicidade varia de acordo com a oxidação, embora todo metal possa ser tóxico dependendo da concentração utilizada.

O cromo (III) é muito importante para o corpo humano, sendo que a falta dele em nosso metabolismo pode causar uma série de doenças. Por outro lado, o cromo (VI) é muito diferente. Ele é tóxico e extremamente perigoso por ser um agente carcinogênico. Além disso também é bioacumulativo, ou seja, é facilmente absorvido

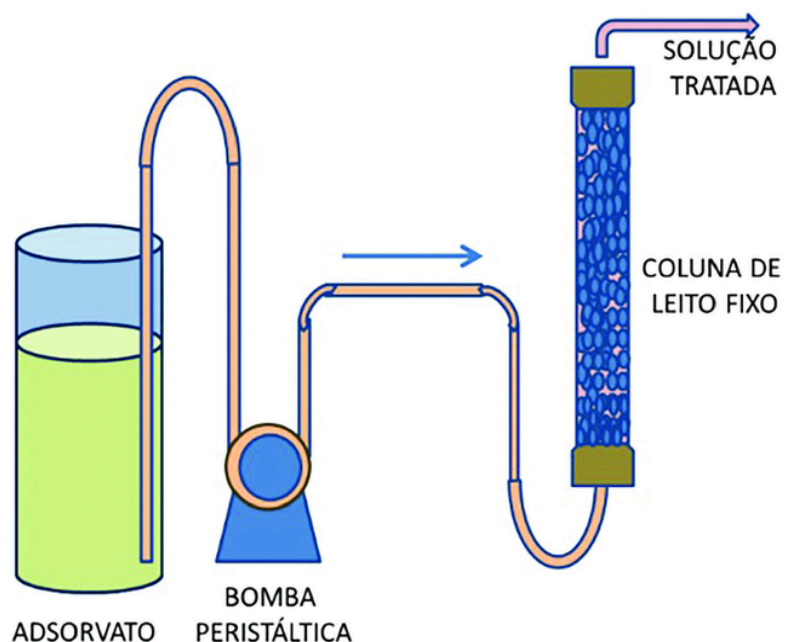
ou ingerido por organismos mas dificilmente eliminado, sendo um grande problema a longo prazo, pois no solo o metal pode ser absorvido por plantas, que posteriormente vão ser colhidas e destinadas a consumo humano, o que pode levar a diversos problemas, inclusive fatalidades (Magro, *et al.* 2013). Também possui baixa degradabilidade, o que faz com que o mesmo fique por muito tempo no ambiente, sendo então absorvido por organismos em concentrações muito mais altas comparadas a quando eles chegaram no ambiente (Magro, *et al.* 2013). O Cromo 6 também possui alguns compostos, como cromatos, dicromatos e o ácido crômico, que são igualmente tóxicos e ingerir mesmo uma mínima quantidade pode ser fatal. Por isso, qualquer efluente contendo o cromo hexavalente pode contaminar muito facilmente o ambiente em que for descartado, necessitando de um tratamento adequado para evitar problemas futuros.

8 MATERIAIS E MÉTODOS

Seguindo os procedimentos do processo de adsorção, serão realizadas diferentes etapas básicas para garantir a eficácia do tratamento.

Primeiramente, o adsorvente será preparado adequadamente, o que pode incluir etapas como ativação ou modificação da superfície do material, destinadas a otimizar sua capacidade de adsorver contaminantes. A seguir, uma solução sintética contendo cromo hexavalente será preparada em concentração conhecida para simular condições reais de contaminação. O método escolhido foi a adsorção por meio de leito fixo (Figura 1), o qual é caracterizado principalmente pela bomba peristáltica e a coluna, onde a solução deverá sair tratada. Por fim, serão realizados os ensaios e a caracterização dos adsorbatos, ou seja, uma análise detalhada das propriedades do material adsorvente, como a quantidade de cromo removido, a eficiência do processo de adsorção e possíveis interações entre adsorvente e adsorbato.

Figura 1: Esquema de um ensaio de adsorção em colunas de leito fixo.



Fonte: Moreira e Genova (2023).

Este conjunto de etapas permitirá uma avaliação da eficácia do processo de adsorção na remoção do cromo hexavalente e ajudará a otimizar futuras aplicações deste método no tratamento de soluções contendo esse agente contaminante.

8.1 TRATAMENTO DA CASCA DO ABACAXI

Em relação à preparação da casca de abacaxi, os procedimentos serão baseados em trabalhos e pesquisas científicas feitas por autores que já prepararam ou modificaram o mesmo ou outro bioissorvente.

De acordo com a pesquisa científica feita por Rodrigues (2019), o tratamento da casca do abacaxi foi feito pelas seguintes etapas: a casca do abacaxi foi inicialmente higienizada com água corrente, e em seguida, o material foi colocado em uma estufa com uma circulação e renovação de ar a 50°C por 24 horas. Após este procedimento, o material passou por uma trituração com o auxílio de um liquidificador comum, e a casca foi peneirada utilizando uma granulometria de 500 µm, obtendo assim o pó do material adsorvente.

Ao decorrer da pesquisa avaliaremos a necessidade de um tratamento ácido ou básico dessa biomassa para a produção do bioissorvente.

8.2 PREPARAÇÃO DO ADSORVATO

Para a preparação do adsorvato, em que o metal escolhido foi o cromo hexavalente, utilizaremos como base pesquisas realizadas por autores que estudaram a adsorção do cromo hexavalente e prepararam um efluente sintético.

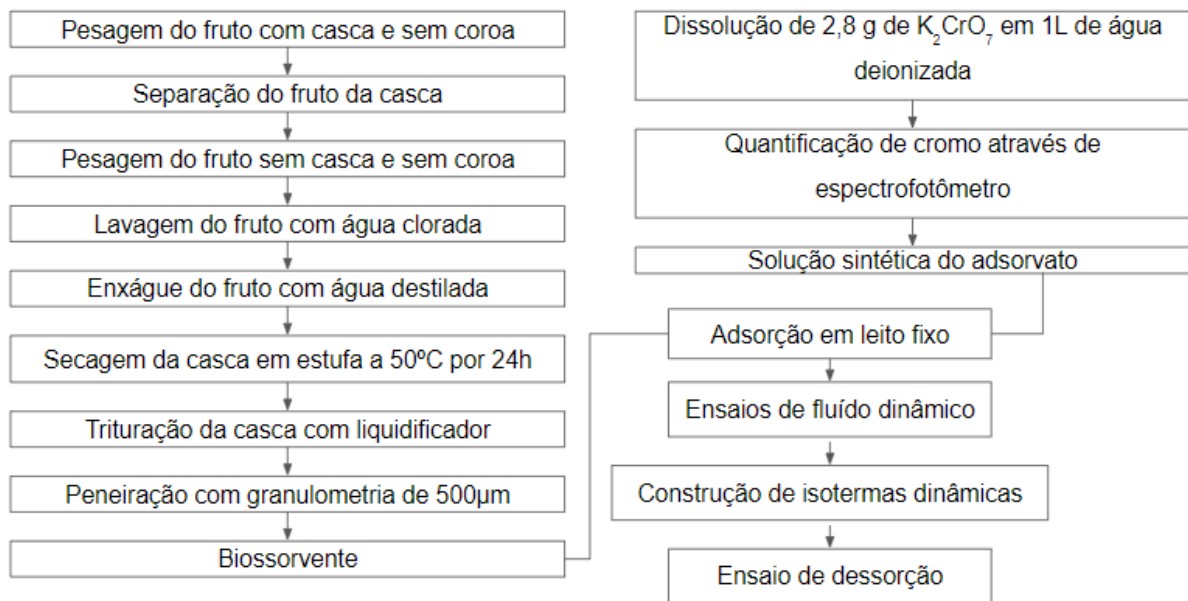
Renata Farias Oliveira (2013) estudou a adsorção de cromo hexavalente em altas concentrações avaliando diferentes sólidos sorvetes na remoção do metal. Neste estudo, para os ensaios de adsorção realizados em batelada e, posteriormente, em leito fixo, foi preparada uma solução sintética de Cr (VI), 1000 mg.L⁻¹, pela dissolução de 2,8290 g de K₂CrO₇ (dicromato de potássio) em água deionizada utilizando um balão volumétrico de 1000 mL. Já as soluções com concentrações menores foram preparadas por diluição. Para a leitura, a pesquisadora utilizou um espectrofotômetro, seguindo o método Standard Methods número 3500 – Cr.

De maneira semelhante, Natália Fonseca e Bethania Brochier (2020) realizaram um estudo utilizando a casca de banana como bioissorvente na remoção de cromo hexavalente em efluente sintético, onde também prepararam uma amostra sintética na concentração de 50 mg/L de dicromato de potássio P.A - A.C.S 100% com água deionizada. Para o ensaio de adsorção, as pesquisadoras utilizaram

amostras de 250 mL do efluente sintético com 3 g do bioissorvente e o ensaio foi realizado em batelada. Para a quantificação de cromo, foi feito através do método colorimétrico a 540 nm em espectrofotômetro.

Considerando os procedimentos descritos acima, a metodologia seguirá o fluxograma apresentado na figura 2.

Figura 2 – Fluxograma da metodologia.



Fonte: Autores (2024).

8.3 REUSO DO MATERIAL ADSORVENTE EM CICLOS DE ADSORÇÃO E DESSORÇÃO

A fim de manter o cunho sustentável, torna-se relevante para a pesquisa um meio de remover o cromo hexavalente do bioissorvente aplicado, por meio do processo de dessorção.

Segundo Gaspar (2003 *apud* Nascimento *et.al*, 2020), após ser utilizado a coluna com o adsorvente, este pode passar por um processo de dessorção dos compostos, a partir de lavagens com soluções eluentes, para que então, possa ser reutilizada para um novo ciclo de adsorção. Para Seolatto (2008), dessorção significa então um processo inverso à adsorção, na qual haverá uma fase sólida (resina de troca iônica) que estará saturada, sendo submetida ao contato um agente

eluente (fase líquida), que possibilita a remoção dos íons da fase sólida para a fase líquida, com resultado de uma massa contaminada concentrada.

9 CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

ETAPAS DA PESQUISA 2025.1	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Discussão e acolhimento das proposições da banca	X	X			
Revisão bibliográfica	X	X	X	X	X
Preparação do biossorvente		X	X		
Ensaio de fluido dinâmico		X	X	X	X
Construção de isotermas dinâmicas					X
Entrega e apresentação do relatório parcial					X

ETAPAS DA PESQUISA 2025.2	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Discussão e acolhimento das proposições da banca	X				
Revisão Bibliográfica	X	X	X	X	X
Ensaio de dessorção	X	X			
Construção de isotermas dinâmicas	X				
Entrega e apresentação do artigo científico					X

REFERÊNCIAS

ABAS, Siti Nur Aaisyah et al. **Adsorption Process of Heavy Metals by Low-Cost Adsorbent: a review.** *World Applied Sciences Journal. Selangor*, p. 1518-1530. nov. 2013. Disponível em: [https://www.idosi.org/wasj/wasj28\(11\)13/7.pdf](https://www.idosi.org/wasj/wasj28(11)13/7.pdf). Acesso em: 25 out. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 358 de 29 de abril de 2005.** Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 29 abr. 2005. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/sustentabilidade/01-gerenciamento-de-residuos-solidos-e-efluentes-liquidos-rodoviario.pdf>. Acesso em: 14 set. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430 de 16 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 16 maio 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/sustentabilidade/01-gerenciamento-de-residuos-solidos-e-efluentes-liquidos-rodoviario.pdf>. Acesso em: 14 set. 2024.

BRASIL. **NBR 13.221 de 08 de novembro de 2017.** Especifica os requisitos para o transporte terrestre de resíduos, de modo a evitar danos ao meio ambiente e a proteger a saúde pública. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 08 nov. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/sustentabilidade/01-gerenciamento-de-residuos-solidos-e-efluentes-liquidos-rodoviario.pdf>. Acesso em: 14 set. 2024.

CARPINÉ, Danielle. **Recuperação do aroma álcool feniletílico por adsorção em batelada e em coluna.** 2011. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos do Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011. Disponível em: http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/8649/Dissertacao_Danielle%20Carpine.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 26 out. 2024.

CLAUDINO, Andréia. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes.** 2003. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86346/192226.pdf?sequence>. Acesso em: 26 out. 2024.

DACERA, Dominica *et al.* **Potential for land application of contaminated sewage sludge treated with fermented liquid from pineapple wastes.** *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 167, p. 866-872. 2009. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389409001046?via%3Dihub>. Acesso em: 04 nov. 2024

FERNANDES, Sabrina Gabrielle da Silva et al. **Materiais Adsorventes e suas Aplicações**: uma revisão bibliográfica. 2021. 52 f. Monografia (Bacharelado) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/bccef72e-63c1-4545-bc00-8252e4a64348/content>. Acesso em: 17 dez. 2024.

FONSECA, Natália; BROCHIER, Bethania. **Utilização da casca de banana como bioissorvente na remoção de cromo hexavalente em efluente sintético**. In: **COLÓQUIO FRANCO-BRASILEIRO: TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS PARA O DESENVOLVIMENTO DA CADEIA PRODUTIVA DE ALIMENTOS**, IV, 2020, São Francisco de Paula. *Anais do IV Colóquio Franco-Brasileiro*, p. 103-109, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/377182360_Utilizacao_da_casca_de_banana_como_bioissorvente_na_remocao_de_cromo_hexavalente_em_efluente_sintetico. Acesso em: 03 dez. 2024.

IDE, W. R. et al. **CONTRIBUIÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL: TRATAMENTO DE RESÍDUOS LABORATORIAIS CONTENDO METAIS PESADOS**. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/0e65d221ba9e4831e386839a9da752e3_6bef91a85af710a308d2017748bf8e94.pdf. Acesso em: 11 nov. 2024.

JARDIM, W.F. **Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa**. 1998. *Química Nova* 21, n. 5, p. 671-673. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/Z46dkYrT5zpVmFYtYLyhYjh/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 out. 2024.

LIMA, Verônica Evangelista de et al. **Avaliação do uso de materiais residuais como adsorventes para remoção de Pb²⁺ em efluentes de laboratórios**. *Brazilian Journal Of Development*. Paraíba, p. 97249-97626, 2020. Acesso em: 22 out. 2024.

MAGRO, Clinei Dal. DEON, Maitê Carla. et al. **Biossorção passiva de cromo (VI) através da microalga *Spirulina platensis***. *Química Nova*, Vol. 36, No. 8, p. 1139-1145. 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/VSYbWR5hq6N5z4jPsLX6Tck/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 out. 2024.

MOREIRA, Sarah de Abreu. **Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pendúculo de caju**: estudo de batelada e coluna de leite fixo.

2008. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/17229/1/2008_dis_samara%c3%bajo.pdf. Acesso em: 26 out. 2024.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do *et al.* **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. 2. ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020. 309 p. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/53271>. Acesso em: 25 out. 2024.

OLIVEIRA, Renata. **Estudo da Adsorção de Cromo Hexavalente em Altas Concentrações**. 2013. Dissertação (mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/96390/000915050.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 03 dez. 2024.

REICHERT, Alexandra *et. al.* **Utilization of Pineapple Crown Fiber and Recycled Polypropylene for Production of Sustainable Composites**. *Journal of Renewable Materials*. Vol. 8, No. 10, p.1327-1341. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.32604/jrm.2020.010291>. Acesso em: 08 nov. 2024.

RODRIGUES, Lanna Vanessa Silva. **Avaliação do potencial bioissorvente da biomassa de cascas de abacaxi para remoção de agroquímicos em matrizes aquosas**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, Ceres, 2019. Acesso em: 05 nov. 2024.

SANTOS, José Cleiton dos; BENIGNO, Ana Paula Aquino. **Tratamento de resíduos químicos laboratoriais contendo chumbo (Pb²⁺)**. 2010. Disponível em: <http://congressos.ifal.edu.br/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/512/317>. Acesso em: 22 out. 2024.

SEOLATTO, Araceli Aparecida. **Dessorção de metais da alga marinha Sargassum Filipendula**. 2008. 144 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2008. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/3631/1/000176346.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2024.

SOUZA, Wallas *et al.* **Potencial da casca da laranja como bioissorvente alternativo para remoção de metais pesados em águas residuais**. *Blucher Chemistry Proceedings*. Vol. 3, No. 1, p. 1-10. 2015. Disponível em: <https://pdf.blucher.com.br/chemistryproceedings/5erq4enq/am2.pdf>. Acesso em: 30 set. 2024.

VIGANÓ, Juliane. **Propriedades termodinâmicas de adsorção de água e cinética de secagem de subprodutos da industrialização de abacaxi (*Ananás comosus* L.): casca e cilindro central**. 2012. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/90762>. Acesso em: 22 out. 2024.