

**FACULDADES INTEGRADAS DE ARACRUZ - FAACZ
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**ROBERT ORLANDO BRAZ GIACOMIN
THAYNÁ ALVES COELHO
THAYNAN MANDELLI AGOSTINI
VINIANGLES MENDES PINTO**

**EFICIÊNCIA DO CARVÃO DE ENDOCARPO DE COCO DA BAÍA ATIVADO
QUIMICAMENTE NA REMOÇÃO DE ÍONS Ca^{2+} E Cl^-**

**ARACRUZ
2019**

**ROBERT ORLANDO BRAZ GIACOMIN
THAYNÁ ALVES COELHO
THAYNAN MANDELLI AGOSTINI
VINIANGLES MENDES PINTO**

**EFICIÊNCIA DO CARVÃO DE ENDOCARPO DE COCO DA BAÍA ATIVADO
QUIMICAMENTE PARA REMOÇÃO DE ÍONS Ca^{2+} E Cl^-**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Química da Faculdade de Aracruz, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador(a): Prof: Dr. Marcos Roberto Teixeira Halasz

**ARACRUZ
2019**

ROBERT ORLANDO BRAZ GIACOMIN
THAYNÁ ALVES COELHO
THAYNAN MANDELLI AGOSTINI
VINIANGLES MENDES PINTO

**EFICIÊNCIA DO CARVÃO DE ENDOCARPO DE COCO DA BAÍA ATIVADO
QUIMICAMENTE NA REMOÇÃO DE ÍONS Ca^{2+} E Cl^{-}**

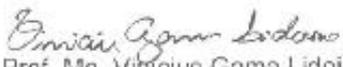
Trabalho de conclusão de curso apresentado à
coordenadoria do curso de Engenharia Química
das Faculdades Integradas de Aracruz, como re-
quisito parcial para a obtenção do título de Ba-
charel em Engenharia Química.

Aprovado em 18 de dezembro de 2019

COMISSÃO EXAMINADORA


Prof. Dr. Marcos Roberto Teixeira Halasz
Faculdades Integradas de Aracruz
Orientador


Prof. Me. Mario Sergio da Rocha Gomes
Faculdades Integradas de Aracruz
Examinador interno


Prof. Me. Vinicius Gama Lidoino
Faculdade Multivix
Examinador externo

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por mais esta etapa concluída e por todo sustento que até aqui nos proporcionou. Mesmo em todas as dificuldades, nunca nos faltou a fé e a esperança de que seríamos vencedores neste percurso e tudo Deus proveu.

A instituição FAACZ e aos nossos professores que contribuíram para o nosso aprendizado e nos apoiaram durante essa jornada.

Ao nosso orientador, Marcos Roberto Teixeira Halasz, pelo suporte, tempo e paciência prestada para a realização deste trabalho.

E o nosso muito obrigado às nossas famílias e amigos pelo incentivo, força, amor e apoio incondicional.

RESUMO

O desenvolvimento industrial sustentável tem se tornado alvo das empresas atualmente, em virtude da grande quantidade de efluentes gerados e da necessidade de enquadrá-los aos parâmetros estipulados por lei. Neste trabalho foi realizada a confecção de carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com o objetivo de avaliar sua eficiência na remoção dos íons Ca^{2+} e Cl^- presentes em um efluente industrial, por meio de uma simulação através de solução com concentração conhecida dos referidos íons. A matéria prima foi preparada segundo a metodologia de Fernandes (2008) e Cambuim (2008) para produção e ativação do carvão. Posteriormente foram realizados testes em batelada, utilizando solução CaCl_2 , com realização de titulações para determinar a concentração dos íons, sendo ainda avaliada a interferência do pH, massa de adsorvente e tempo de contato no processo de adsorção. Ao serem realizados os testes de adsorção, o íon Ca^{2+} apresentou 94% de remoção em condição de pH 10 em agitação com 0.5g de carvão por 60 minutos. O modelo de isoterma de Freundlich descreveu de maneira mais clara o processo de adsorção, indicando a heterogeneidade da superfície. O íon Cl^- apresentou cerca de 65% de remoção após 6 horas de agitação em pH 3, sendo agitado com 0,25g de carvão. O modelo de Langmuir descreveu de maneira mais clara o processo, mesmo que muito semelhante ao de Freundlich, porém o sistema tende a seguir o modelo de Langmuir. Em geral, o carvão apresentou um índice satisfatório de remoção para o íon Ca^{2+} , porém não tão eficiente para o íon Cl^- .

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Coco da Baía	23
Figura 02 - Estrutura porosa do carvão ativado.....	23
Figura 03 - Isotermas classificadas segundo Brunauer.....	29
Figura 04 – Etapas do procedimento experimental	32
Figura 05 - Material carbonizado após impregnação com ZnCl ₂	37
Gráfico 01 - Remoção de Ca ²⁺ sob influência do pH.....	39
Gráfico 02 - Remoção de Ca ²⁺ sob influência da massa de adsorvente	40
Gráfico 03 - Remoção de Ca ²⁺ sob influência do tempo de contato.....	41
Gráfico 04 - Isoterma de Langmuir (Ca ²⁺)	42
Gráfico 05 - Isoterma de Freundlich (Ca ²⁺)	43
Gráfico 06 - Remoção de Cl ⁻ sob influência do pH.....	44
Gráfico 07 - Remoção de Cl ⁻ sob influência da massa de adsorvente	45
Gráfico 08 - Remoção de Cl ⁻ sob influência do tempo de contato.....	46
Gráfico 09 - Isoterma de Langmuir (Cl ⁻)	47
Gráfico 10 - Isoterma de Freundlich (Cl ⁻)	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Padrões de qualidade e potabilidade da água.....	21
Tabela 02 - Resumo dos resultados das experiências de adsorção do íon Cl ⁻ com vários carvões	28
Tabela 03 - Ajustes de pH	34
Tabela 04 - Ensaios da influência do pH para adsorção do Ca ²⁺	38
Tabela 05 - Ensaios da influência da massa de adsorvente para adsorção do Ca ²⁺	39
Tabela 06 - Ensaios da influência do tempo de contato para adsorção do Ca ²⁺	40
Tabela 07 - Dados de adsorção para isoterma de Langmuir (Ca ²⁺)	41
Tabela 08 - Constantes isoterma de Langmuir	42
Tabela 09 - Dados de adsorção para isoterma de Freundlich (Ca ²⁺).....	42
Tabela 10 - Constantes isoterma de Freundlich (Ca ²⁺).....	43
Tabela 11 - Ensaios da influência do pH para adsorção do Cl ⁻ em 60 minutos	44
Tabela 12 - Ensaios da influência da massa de adsorvente para adsorção de Cl ⁻ ...	45
Tabela 13 - Ensaios da influência do tempo de contato para adsorção de Cl ⁻	46
Tabela 14 - Dados de adsorção para isoterma de Langmuir (Cl ⁻).....	46
Tabela 15 - Constantes isoterma de Langmuir (Cl ⁻).....	47
Tabela 16 - Dados de adsorção para isoterma de Freundlich (Cl ⁻).....	47
Tabela 17 - Constantes isoterma de Freundlich (Cl ⁻).....	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REFÊRENCIAL TEÓRICO	13
3.1 INDÚSTRIA DO ALUMÍNIO	13
3.2 TRATAMENTO DE EFFLUENTES	14
3.2.1 Abrandamento	15
3.2.2 Tratamento de Cloretos	16
3.2.2.1 Processos de Separação por Membranas	17
3.2.2.2 Processos Térmicos.....	17
3.3 MARCO LEGAL E NORMATIVO	18
3.4 ENDOCARPO DE COCO DA BAÍA	22
3.5 PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO	23
3.5.1 Tipos de Ativação	24
3.6 ADSORÇÃO COM CARVÃO ATIVADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES	26
3.7 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO.....	28
4 METODOLOGIA	32
4.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL.....	32
4.2 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA	33
4.3 PRODUÇÃO DE CARVÃO.....	33
4.3.1 Tratamento com Ácido Fosfórico (H₃PO₄)	33
4.4 EXPERIMENTOS DE ADSORÇÃO EM BATELADA	33
4.5 ANÁLISE DE AMOSTRAS E ANÁLISE DE VARIÁVEIS	34
4.5.1 Influência do pH	34
4.5.2 Influência da Massa de Adsorvente	35

4.5.3	Influência do Tempo de Contato.....	35
4.5.4	Determinação da Concentração dos Parâmetros	35
4.5.4.1	Íon Cloreto (Cl^-)	35
4.6.4.2	Íon Cálcio (Ca^{2+})	36
4.6	LEVANTAMENTO DE ISOTERMAS DE ADSORÇÃO.....	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
5.1	PREPARAÇÃO DO CARVÃO ATIVADO	37
5.2	EXPERIMENTOS EM BATELADA (Ca^{2+})	38
5.2.1	Análise de Amostras e análise de Variáveis.....	38
5.2.1.1	Influência do pH	38
5.2.1.2	Influência da Massa de Adsorvente	39
5.2.1.3	Influência do Tempo de Contato	40
5.3	ISOTERMAS DE ADSORÇÃO (Ca^{2+})	41
5.4	EXPERIMENTOS EM BATELADA (Cl^-)	43
5.4.1	Análise de Amostras e análise de Variáveis.....	43
5.4.1.1	Influência do pH	43
5.4.1.2	Influência da Massa de Adsorvente	45
5.4.1.3	Influência do Tempo de Contato	46
5.5	ISOTERMAS DE ADSORÇÃO (Cl^-)	47
6	CONCLUSÕES.....	49
	REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

A água é essencial para o bem-estar e manutenção dos seres vivos e ecossistemas, quase toda superfície do planeta Terra está coberta por água: água dos oceanos, água dos rios e lagos, água em forma de gelo, água da chuva, ou seja, muita água (VICTORINO, 2007). Porém, apenas uma pequena parcela dessa água é potável e o mau uso tem diminuído de forma drástica essa porção, seja pela falta de manutenção dos rios e lagos ou pela poluição gerada principalmente pelo setor industrial.

Atualmente, devido à escassez e poluição dos recursos hídricos, tem havido uma preocupação maior por parte de vários setores da sociedade com relação ao tratamento adequado da água. O tratamento de efluentes industriais, por exemplo, tem como objetivo retirar impurezas geradas durante do processo de fabricação (MARCONDES, 2012).

Dentro desse cenário industrial, é possível destacar a indústria de alumínio, que em 2017 produziu um total de 801.700 toneladas de alumínio primário, já em 2018 foram cerca de 659.000 toneladas, demonstrando uma queda de quase 18% na produção. No setor de perfilados de alumínio houve um aumento na produção de 5% em 2017 em relação a 2016, sendo que em 2017 foram produzidos 1.278.300 de transformados de alumínio (ABAL, 2019).

Grande parte dos transformados de alumínio passa, pelo processo de pintura eletrostática, que necessita de uma preparação da superfície para que haja aderência da tinta que será aplicada. A primeira etapa do processo de pré tratamento inclui uma limpeza química de toda a superfície do alumínio, que pode conter óleos, graxas e outras contaminações (SILVA, 2009).

Esse tipo de limpeza utiliza desengraxes ácidos ou até mesmo soluções alcalinas como soda cáustica, no caso de graxas saponificáveis. Em virtude dos componentes presentes nesses produtos, é necessário que haja um tratamento adequado do efluente gerado para que este se enquadre na legislação vigente (SILVA, 2009).

As reações provenientes da utilização de soluções ácidas resultam em um efluente bruto extremamente ácido, pH 2-3, formando diferentes compostos como o íon Cl^-

podendo ocorrer em concentrações superiores aos parâmetros estabelecidos por lei. Então, a água formada mesmo após tratada não pode ser reutilizada para fins de irrigação, por exemplo, por acelerar a queima das espécies plantadas expostas ao Sol.

A presença de Cloreto em águas traz alguns impactos tanto no âmbito industrial, como no ambiental. Fernandes (2008) salienta que altas concentrações de cloreto podem causar corrosão em tubulações metálicas de sistemas de tratamento e o efluente se torna inadequado para uso em agricultura, além de potencial contaminante de aquíferos.

Outro agravante é a necessidade de se utilizar elevada quantidade de cal hidratada (Ca(OH)_2) para correção do pH durante o tratamento realizado na ETE para que se obtenha valores de pH entre 7 e 8, resultando na elevação da dureza do efluente tratado.

Dentre as formas distintas de manifestação dos poluentes na composição dos efluentes industriais pode-se destacar a chamada dureza da água. Água dura é definida pelo teor de íons Cálcio (Ca^+) e Magnésio (Mg^+), acima de 150 mg/L (MEDEIROS, 2017).

A água dura gera problemas nas residências e indústrias, Figueiredo (1999) destaca que a água dura não descaracteriza a potabilidade da água. Na indústria o problema deve ser evidenciado e tratado, pois os compostos causadores tendem a formar cristais em altas temperaturas, sendo prejudicial a caldeiras, por exemplo, e dificultam ações de detergentes e sabões em processos de limpeza.

Para tanto, referente ao tratamento dos efluentes caracterizados com os íons descritos, a adsorção com carvão ativado tem direcionado estudos para este fim. Os carvões ativados são empregados industrialmente para o tratamento de águas, efluentes e afins, visto que este se destaca pela diversidade de materiais carbonáceos que podem ser utilizados para sua produção (CLAUDINO, 2003).

A adsorção em carvão ativado é usada em sistemas de tratamento requerentes de alto grau, indicada a todos os portes, tratando partes ou vazões completas de

efluentes podendo utilizar diferentes matérias-primas para esse carvão. (MANCUSO & SANTOS, 2003).

O coco tem sido amplamente estudado em relação ao poder de adsorção de seus componentes. Atualmente, no Brasil são produzidos cerca de 1.116.969.000 frutos ao ano, gerando uma grande quantidade de resíduos que poderiam ser reaproveitados no tratamento de efluentes (CORREA, 2006).

A adsorção de cátions metálicos por carvão ativado é objeto de estudos há algum tempo inclusive nos tratamentos de abrandamento de águas residuais, como por exemplo, o carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente (JAGUARIBE et al., 2006), mostrando resultados satisfatórios no abrandamento de água dura.

A remoção de cloretos de águas por adsorção tem sido estudada recentemente, e o trabalho proposto por Fernandes (2008) evidencia o uso do carvão de endocarpo de coco da baía ativado física e quimicamente neste sentido.

Desta forma, este trabalho visa produzir o carvão de endocarpo de coco da baía e ativá-lo quimicamente no intuito de averiguar o potencial de remoção dos íons Cl^- e Ca^{2+} do efluente de uma empresa de perfilados de alumínio. Os testes utilizaram efluente simulado, para promover uma possível adequação à legislação vigente dos níveis destes parâmetros conferidos ao efluente, visando a reutilização desta água tratada para fins de irrigação e reuso em sistemas de descarga sanitária, para diminuição de custos com a água da rede municipal.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Produzir carvão ativado a partir de endocarpo de coco da baía (*Coccus Nucifera*) e investigar a eficiência da adsorção de íons Cl^- e Ca^{2+} que caracterizam o efluente de uma indústria de perfilados de alumínio.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Produzir carvão de endocarpo de coco da baía e promover ativação química do mesmo;
- ✓ Avaliar a remoção de íons Ca^{2+} e Cl^- através de adsorção em sistema descontínuo do carvão produzido em solução com alta concentração dos íons de interesse;
- ✓ Investigar os efeitos de pH, tempo de contato e massa de adsorvente no processo de adsorção dos parâmetros essenciais deste estudo;
- ✓ Averiguar os modelos de isoterma de Langmuir e Freundlich a fim de verificar o melhor aplicável para cada íon.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A INDÚSTRIA DO ALUMÍNIO

O alumínio possui grande importância mundial devido a sua facilidade de reciclagem, inúmeras propriedades, versatilidade e principalmente por sua alta abundância na crosta terrestre (LEITE, 2018).

O alumínio apresenta propriedades como alta resistência a corrosão, leveza, baixo ponto de fusão e grande condutividade elétrica. Além disso, devido as suas características físico-químicas, o alumínio permite sua utilização em uma diversidade de produtos em diferentes tipos de setores, destacando os setores automotivos, de transporte e de construção civil (CARDOSO et al, 2011).

Em sua forma metálica, o alumínio pode ser obtido através da mineração de bauxita seguida do seu beneficiamento. A bauxita beneficiada prossegue para a refinaria para ser submetida a um tratamento químico a fim de extrair as impurezas, dando origem a um produto intermediário denominado alumina. A alumina é então transformada em alumínio primário por meio da eletrólise (CARDOSO et al., 2011).

Nas indústrias de alumínio, o setor de transformados é responsável pela produção de chapas, folhas, extrudados, cabos, entres outros, e foi o primeiro da indústria de alumínio a ser implantado no país. Tal setor possui algumas vantagens como tecnologia de fácil acesso e bem conhecida, requer menores investimentos iniciais e possui uma rápida adaptação às exigências do mercado (MONTE et al., 1994).

3.2 TRATAMENTO DE EFLUENTES

Nos últimos tempos, houve uma maior preocupação por parte das empresas em relação ao meio ambiente e às consequências dos efluentes de seus processos produtivos.

Após a criação de resoluções pelo CONAMA referentes aos padrões de lançamento, foi necessária a implantação de sistemas de tratamento de efluentes. O tratamento possibilitou um reaproveitamento de efluentes, podendo utilizá-los ou comercializá-los com outras empresas, assim gerando uma nova renda (SILVEIRA, 2010).

O controle da poluição dos efluentes industriais segue algumas etapas, que inicialmente baseiam-se na redução de perdas durante o processo, sendo este melhorado através da inclusão de tecnologias mais modernas e realização de manutenções que promoverão a redução do consumo de água e energia (GIORDANO, 1999).

Para a elaboração de um sistema de tratamento bem como dos materiais a serem utilizados, alguns fatores devem ser analisados como: legislação regional, viabilidade econômica, custos operacionais, quantidade de lodo gerado na estação de tratamento, quantidade de efluente tratado, segurança operacional em relação a vazamentos e contato com reagentes químicos, confiabilidade para atender à legislação ambiental, possibilidade de reutilização do efluente, entre outros (GIORDANO, 1999).

Um efluente tratado pode ter diversas finalidades, e pode ser classificado como: reuso em caldeiras, reuso para sistemas de água de resfriamento, reuso em processos industriais, entre outros (SILVA, 2002 apud STEIN, 2012).

Dentre os benefícios para as indústrias do reuso da água, estão: melhora na imagem ambiental da indústria, descarte mínimo de efluentes, maximização da eficiência na utilização dos recursos hídricos e certeza da qualidade da água tratada (TELLES; COSTA, 2007 apud STEIN, 2012).

3.2.1 Abrandamento

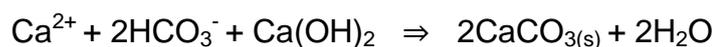
O abrandamento de águas é uma técnica designada ao tratamento de águas duras com o objetivo claro de remover as substâncias que conferem à água este *status*, substâncias que formam compostos insolúveis ao reagirem com sabões, citando como exemplos majoritários o Cálcio e o Magnésio em concentrações acima de 150 mg/L (DAVIS & CORNWELL, 1998 apud MIERZWA, 2002).

A constatação da dureza em efluentes industriais ou águas residenciais está ligada a uma série de fatores desde a relação com o rendimento do sabão utilizado para limpeza. Desse modo, uma possível reutilização da água para este fim em indústrias com efluente com essas características, por exemplo, seria inviabilizada, pois “águas de dureza elevada consomem muito sabão na limpeza em geral”, pois dificultam a formação de espuma (SILVA et al., 2014, p.2).

Estas substâncias que atribuem a dureza à água são passíveis de precipitarem, em paredes de tubos e equipamentos, ocasionando incrustações ou problemas mais graves, principalmente em ambientes em que se promove o aquecimento (MIERZWA, 2002).

Em uma perspectiva geral, pode-se dizer que existem três tipos de tratamento de água dura, ou seja, abrandamento por precipitação química, por troca iônica ou separação por membranas, destacando que estes são indicados para algumas faixas específicas de dureza da água (MIERZWA, 2002).

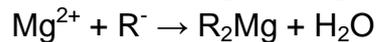
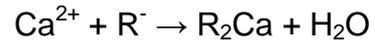
O abrandamento por precipitação química é baseado na adição de cal e soda. O processo envolve a utilização de cal (Ca(OH)_2) e barrilha (Na_2CO_3) o que faz com que o íon cálcio presente na solução precipite como carbonato de cálcio (CaCO_3) e o magnésio como hidróxido (Mg(OH)_2) (MANAHAN, 2013).



No processo de troca iônica são utilizados compostos orgânicos sintéticos, são as chamadas resinas, estas por sua vez são capazes de adsorver cátions, destacando os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} , e ânions como Cl^- e SO_4^{2-} , sendo substituídos por íons hidrogênio (H^+) ou hidroxila (OH^-), que reagem entre si para formação da molécula de água (MIERZWA, 2002).

“Os processos de troca iônica e separação por membranas possibilitam reduzir em até 100% a dureza da água, devendo-se observar que estes processos são mais adequados para o abrandamento de água com uma dureza relativamente baixa, como por exemplo, menor ou igual a 80 mg/L [...]” (MIERZWA, 2002).

Conforme MEDEIROS (2017), a reação de troca iônica no abrandamento de água ocorre da seguinte forma:



R significa resina

O íon Cl^- presente em águas subterrâneas é proveniente de rochas e dos solos, porém em águas superficiais são originados principalmente das descargas dos esgotos domésticos e de indústrias (FERNANDES, 2008).

Segundo a portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde, o limite máximo de cloreto que pode estar presente em água potável é de 250 ppm, pois níveis mais elevados desse íon conferem à água um gosto desagradável, causado principalmente pelo NaCl , além do risco de corrosão de encanamentos dos sistemas de distribuição de água. Então torna-se necessária a utilização de técnicas específicas que sejam efetivas na remoção desse íon, uma vez que aquelas utilizadas em estações de tratamento não são eficientes (FERNANDES, 2008).

“Os cloretos são muito estáveis e por isso, não são removidos nas estações de tratamento. Para removê-los podem ser utilizadas, técnicas especiais como osmose reversa, destilação e processos à base de troca iônica. Estes métodos, porém têm desvantagens tais como: elevado investimento e custo operacional, além de problemas relacionados à disposição dos rejeitos salinos” (LU et al., 2006; NAMASAYAVAN et al. 2007 apud FERNANDES, 2008, p. 3).

Segundo Charcosset (2009) apud Torri (2015), os processos de dessalinização podem ser divididos em duas categorias principais: processos térmicos e processos de separação por membranas.

3.2.2.1 Processos de Separação por Membranas

A osmose reversa tornou-se uma possibilidade principalmente na exploração de águas subterrâneas para o consumo humano, consistindo em um processo no qual o solvente flui através de uma membrana semipermeável, migrando de uma solução

menos concentrada para uma mais concentrada até que a elevação da pressão osmótica do lado concentrado seja tamanha que impeça a passagem (NETO, 2009).

A osmose promove uma mudança no processo e no fluxo da água, aplicando uma pressão superior à pressão osmótica, possibilitando que uma água de com baixa concentração salina seja retirada de uma solução salina. Isso ocorre, pois a membrana é permeável para a água, mas não para outros sais dissolvidos, havendo uma separação entre o permeado e o rejeito (NETO, 2009).

Para a realização desse tipo de processo são necessárias pressões em torno de 20 mega Pascal (MPa) para água salobra e 50 MPa para água do mar. Utilizam-se membranas configuradas em módulos espirais e a água flui entre duas folhas membranas enroladas em torno de um tubo central (NETO, 2009).

Uma das desvantagens da osmose é a sensibilidade que as membranas têm para incrustações ocasionadas por sólidos suspensos ou danos causados por compostos oxidantes como cloro e óxido de cloro (NETO, 2009).

3.2.2.2 Processos Térmicos

A destilação flash em multiestágios (MFS) é um processo baseado no princípio da vaporização instantânea ou “flash”, no qual se eleva a temperatura da corrente de água salgada, promovendo um aumento da pressão e temperatura. Em seguida a corrente é encaminhada para uma espécie de recipiente denominado estágio a uma pressão mais baixa, causando instantaneamente a vaporização de parte da água sem que seja necessário adicionar mais calor (TORRI, 2015).

O vapor que encosta na superfície exterior, contendo água fria que alimenta o primeiro estágio, é condensado em água pura, sendo posteriormente recolhido para o lado externo da câmara. Então o calor latente liberado pela condensação é utilizado para aquecer a água de alimentação e a solução concentrada (salmoura) utilizadas no próximo estágio que estará a uma pressão e temperatura ainda menor. Consequentemente mais água é vaporizada e consequentemente mais vapor é condensado (TORRI, 2015).

O processo é repetido em uma série de estágios, tipicamente de 4 a 40 estágios, logo, quanto maior o número de estágios maior será a área de transferência de calor e melhor a eficiência da planta do MFS, porém existe um aumento considerável no custo da planta (TORRI, 2015).

A destilação multiefeitos (MED) consiste em uma série de evaporadores, cujo processo inicia com a aspersão de água salgada fria sobre um conjunto de tubos quentes contendo vapor, promovendo a evaporação da água. O vapor d'água é recolhido para ceder calor aos tubos que evaporaram água no próximo efeito (TORRI, 2015).

Comparando as plantas de destilação, observa-se que o consumo de energia de uma MED é significativamente menor que uma planta MSF, possuindo uma eficiência maior em relação à transferência de calor (TORRI, 2015).

A destilação a vácuo é um tipo de dessalinização muito utilizado em plataformas de petróleo, que consiste em destilar a água do mar mediante a geração de vácuo e diminuindo a temperatura de ebulição, promovendo a separação da água e dos sais dissolvidos (FILHO et al., 2014).

A dessalinização por congelamento necessita ser analisada quanto à viabilidade e novas tecnologias, uma vez que consiste no congelamento da água salobra ou salgada, obedecendo à ideia de que quando congelada é produzido o gelo puro (FILHO et al., 2014).

De forma geral, todos os processos utilizados tanto para dessalinização quanto para abrandamento têm como objetivo o enquadramento de águas e fluentes em padrões de potabilidade e de lançamento. Tais padrões foram estipulados por leis criadas ao longo dos anos visando a proteger o meio ambiente e possibilitar que água consumida esteja adequada ao uso humano.

3.3 MARCO LEGAL E NORMATIVO

A água é um recurso de grande importância para que a vida na Terra possa existir, sendo essencial para a conclusão dos ciclos dos seres vivos. Além de auxiliar na condição de equilíbrio do ecossistema, os recursos hídricos são de extrema

importância nas atividades humanas, podendo destacar o abastecimento público e industrial, a irrigação agrícola, produção de energia e lazer. Devido à grande relevância no setor industrial, principalmente em casos em que existe uma ampla demanda, empresas buscam se fixar em regiões onde a oferta é adequada (BEAL, 2014). O consumo de água em larga escala por indústrias e consequente geração de efluentes torna necessário o estabelecimento de legislações que regulamentem as características e parâmetros que o efluente a ser lançado deve possuir.

A fiscalização da poluição lançada nas águas e a aplicação de sanções são de responsabilidade dos órgãos estaduais de proteção do meio ambiente. Logo, se uma indústria lança um efluente cujos parâmetros estão em desacordo com a legislação, é dever do órgão estadual coibir a prática. As infrações administrativas referentes à poluição ambiental estão previstas na legislação em diversos textos (HUPFFER & WEYERMÜLLER, 2016).

Pereira Júnior & Jesus (2018) citam que a primeira legislação a respeito do meio ambiente instituída no Brasil foi a lei 6.938/1981, denominada Política Nacional do Meio ambiente, PNMA, descrevendo em seu 2º artigo o objetivo: “a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no país, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e a proteção da dignidade de vida humana” (BRASIL, 1981). A criação dessa política segundo os autores deu efetividade ao artigo 225 da Constituição Federal - CF.

A PNMA possibilitou a criação do CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente, cuja função é determinar a elaboração dos Estudos de Impactos Ambientais (EIA) e dos Relatórios de Impactos Ambientais (RIMA), responsabilizando o IBAMA, Instituto Brasileiro de Meio Ambiente, pelo licenciamento das alterações realizadas no meio ambiente (PEREIRA JUNIOR & JESUS, 2018).

O CONAMA em 1986 em sua Resolução nº 20 estabeleceu a classificação dos corpos de águas naturais doces, salinas e salobras no território nacional, as diretrizes nacionais para enquadramento, assim como as condições e padrões de lançamento de efluentes. Foram instituídos os limites aceitáveis para os parâmetros estabelecidos, diferentes para todas as umas das classes de água, analisando as

condições naturais de cada um dos ambientes aquáticos. Após 1986, os limites foram atualizados, surgindo a resolução do CONAMA n° 357/2005, complementada posteriormente com a criação da resolução n° 430/2011 (CEMBRA, 2012).

A resolução 357/2005 do CONAMA classifica corpos d'água em treze classes, em relação ao uso e salinidade, além de dar diretrizes ambientais para o enquadramento na legislação e estabelecer condições e padrões de lançamento de efluentes (PEREIRA JÚNIOR & JESUS, 2018).

A resolução número 430 de 13 de maio de 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), complementa e altera a resolução 357/2005 e em seu artigo 1° relata que a presente resolução dispõe sobre as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para a gestão do lançamento de efluentes em corpos d'água receptores.

Entre as definições descritas na Resolução 430/2011, está parametrizar a qualidade do efluente, representando as substâncias toxicológicas e ambientalmente relevantes capazes de poluir corpos d'água, disponibilizando ainda, informações a respeito do lançamento direto de efluentes. Então, todo efluente deve ser tratado de modo que se enquadre nos parâmetros estabelecidos, antes de ser lançado, de modo a não provocar prejuízos ambientais aos corpos d'água receptores (HUPFFER & WEYERMÜLLER, 2016).

Em seu artigo 3° ainda diz que efluentes de qualquer fonte poluidora só poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeça às condições, padrões e exigências presentes na resolução do CONAMA N° 430/2011.

“Art. 16. Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente no corpo receptor desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis” (BRASIL, 2011).

“1 - condições de lançamento de efluentes:

a) pH entre 5 a 9;

b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;

c) materiais sedimentáveis: até 1 ml/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;

d) regime de lançamento com vazão máxima de até 1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária do agente poluidor, exceto nos casos permitidos pela autoridade competente;

e) óleos e graxas: 1. Óleos minerais: até 20 mg/L; 2. Óleos vegetais e gorduras animais: até 50 mg/L;

f) ausência de materiais flutuantes;

g) Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO 5 dias a 20°C): remoção mínima de 60% de DBO sendo que este limite só poderá ser reduzido no caso de existência de estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor” (BRASIL, 2011).

Além das resoluções do CONAMA que tratam da disposição dos efluentes, a Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da saúde estabelece padrões de qualidade da água para consumo humano e potabilidade, conforme a tabela 01.

Tabela 01 – Padrões de Qualidade e Potabilidade da Água.

Parâmetro	CAS	Unidade	VMP ⁽¹⁾
Alumínio	7429-90-5	mg/L	0,2
Amônia (como NH ₃)	7664-41-7	mg/L	1,5
Cloreto	16887-00-6	mg/L	250
Cor Aparente ⁽²⁾		uH	15
1,2 diclorobenzeno	95-50-1	mg/L	0,01
1,4 diclorobenzeno	106-46-7	mg/L	0,03
Dureza total		mg/L	500
Etilbenzeno	100-41-4	mg/L	0,2
Ferro	7439-89-6	mg/L	0,3
Gosto e Odor ⁽³⁾		Intensidade	6

(1) Valor máximo permitido;

(2) Unidade Hazen (mgPt-Co/L);

(3) Intensidade máxima de percepção para qualquer característica de gosto e odor com exceção do cloro livre, nesse caso por ser uma característica desejável em água tratada.

Fonte: Brasil, 2004.

Visando adequar os efluentes aos parâmetros, muitas técnicas são utilizadas para a remoção de poluentes orgânicos e inorgânicos, incluindo a adsorção com carvão ativado.

A escolha da matéria-prima que será utilizada para produção do carvão é de grande importância, pois para mecanismos de equilíbrio cada sólido possui diferentes habilidades de acomodar preferencialmente, determinados tipos de adsorvato, existindo uma seletividade (NASCIMENTO et al., 2014). Nesse contexto o

endocarpo de coco da Baía tem sido amplamente utilizado devido a suas propriedades e facilidade de obtenção.

3.4 ENDOCARPO DE COCO DA BAÍA

O Brasil é o quarto maior produtor de coco mundial gerando cerca de 2,8 milhões de tonelada por ano desse fruto, de acordo com dados levantados em 2012 (MARTINS, 2014).

O Estado do Espírito Santo é o quinto maior produtor em área plantada de coco da baía e o segundo maior produtor em produtividade. Por ano, a produção de coco no Estado é dividida em 20% para processamento em indústrias locais e 80% para o comércio “in natura”. Apenas 50% da produção desse fruto fica no Estado capixaba, o restante é enviado para outros Estados (SILVA et al., 2015).

O coco da baía é um dos principais produtos consumidos no litoral brasileiro e sua produção vem aumentando cada vez mais. Com o consumo de coco sempre em crescimento, há grande preocupação sobre os resíduos sólidos da produção desse fruto (PAZ et al., 2017). Tais resíduos contribuem no aumento dos problemas ambientais, onde há a necessidade da busca por alternativas que vão diminuir esses resíduos (MANGUEIRA, 2014).

Uma forma de reaproveitar esses resíduos é a produção de carvão ativado. Tal produção já possui trabalhos que utilizam diferentes agentes desidratantes em sua ativação (MANGUEIRA, 2014). Várias partes do coco podem ser utilizadas para a produção de carvão ativado: endocarpo, cascas, mesocarpo, entre outros.

Entende-se por endocarpo a parte dura do coco que reveste o endosperma, como é mostrado na figura 01. O endocarpo apresenta pouca consistência quando o coco ainda não está maduro e ao amadurecer vai aumentando sua dureza, chegando a uma espessura entre 2 e 6 mm (FERNANDES et al., 2010).

Figura 01 – Coco da Baía (*Coccus nucifera*).



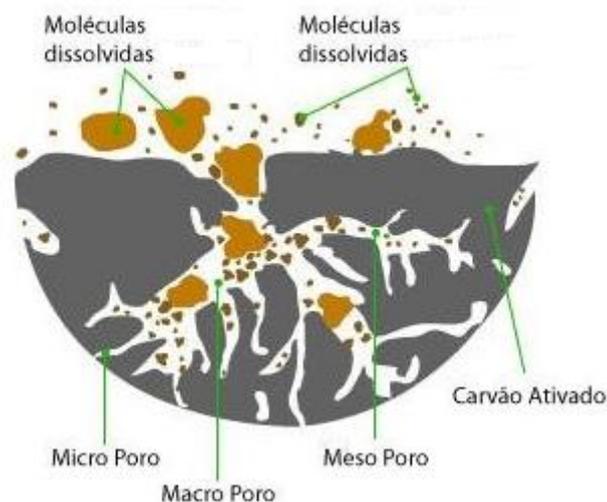
Fonte: Bezerra, 2012.

O uso de uma biomassa, como o endocarpo, na produção de carvão ativado acrescenta valor e renda para empresas que utilizam esse tipo de fruto, além de contribuir na diminuição de impactos ao meio ambiente (PAZ et al., 2017).

3.5 PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado é um material cuja estrutura é altamente porosa, como demonstrado na figura 02, proporcionando uma elevada área superficial e adsorção de moléculas tanto em fase líquida quanto gasosa. As propriedades irão depender de fatores como matéria-prima, processo e tempo de ativação e da disposição final do carvão, ou seja, a distribuição dos poros, geometria e tamanho do adsorvato (ALVES et al., 2015).

Figura 02 – Estrutura porosa do Carvão Ativado.



Fonte: SILVA, 2017.

Alguns parâmetros são considerados importantes na determinação e qualidade do produto, são eles: natureza da matéria prima, temperatura final, fluxo de gás de arraste e taxa de aquecimento (CLAUDINO, 2003). A produção de carvão ativado

envolve duas etapas: carbonização e ativação. A eficiência do carvão ativado está diretamente associada à sua superfície química e sua estrutura de poros (SOARES, 2002).

A carbonização é feita através de um tratamento térmico (pirólise) de uma matéria prima carbonosa em atmosfera inerte. É o tratamento inicial que consiste remover componentes voláteis e gases leves, como por exemplo, monóxido de carbono, hidrogênio, dióxido de carbono, entre outros, formando uma massa com alto teor de carbono (SOARES, 2002).

Antes da pirólise o material carbonizado é submetido ao processo de ativação, que visa o aumento da área superficial, promovendo o aumento da porosidade do carvão. Na ativação podem-se usar dois processos: ativação química ou física (HEYLMANN, 2015).

Segundo Soares (2002) a ativação química é realizada através da ação de substâncias, como ácido fosfórico ou cloreto de zinco, usualmente antes da carbonização do material e posteriormente é efetuada a remoção dos reagentes químicos. De acordo com Mangueira (2014) a ativação física consiste na gaseificação do material por meio de oxidação após a carbonização. Essa oxidação é realizada em uma temperatura entre 800 °C e 1100 °C e pode ser utilizado vapor d'água, ar, dióxido de carbono ou uma mistura desses gases.

Após a carbonização e a ativação é gerado poros nos grãos do carvão ativado que são diferenciados pelo diâmetro pelo IUPAC - União Internacional de Química Pura e Aplicada em macroporos (maior que 50nm), mesoporos (entre 2 e 50nm) e microporos (menor que 2nm) (FERNANDES, 2010).

3.5.1 Tipos de Ativação

Para a preparação do carvão ativado, geralmente utilizam-se dois métodos, ativações químicas e físicas. A ativação física consiste em retirar impurezas, tais como componentes voláteis, através de pirólise ou carbonização, buscando obter um material basicamente formado por carbono. Após o processo de carbonização, em geral, o material é gaseificado com H₂O ou CO₂, ou uma mistura desses gases em temperaturas elevadas, 800 a 1000 °C, pois através das reações químicas uma

quantidade de carbono é perdida e conseqüentemente a estrutura porosa do carvão é aumentada e alargada (NASCIMENTO & STELA, 2015).

O tipo de aplicação do carvão é quem dita a real necessidade do tamanho dos poros desejados. A característica estrutural de um carvão ativado fisicamente está relacionada com poros bastante finos com estruturas tipo fenda, o que faz deste tipo de ativação propício para utilização em adsorção em fase gasosa, em contrapartida a ativação química promove, nos carvões produzidos, poros maiores que os tornam mais apropriados para condução de processos de adsorção em fase líquida (SAI & KRISHNAIAH, 2005).

A ativação química ocorre em temperaturas mais baixas quando comparada a ativação física, na faixa de 400 a 800 °C e ocorre na presença dos seguintes ativantes, ácido fosfórico (H_3PO_4), cloreto de zinco ($ZnCl_2$), hidróxido de potássio (KOH), hidróxido de sódio (NaOH), ácido clorídrico (HCl), ácido sulfúrico (H_2SO_4), entre outros. Esses produtos químicos são utilizados como agentes de desidratação que irão influenciar na decomposição pirolítica e inibir a formação de alcatrão, o que aumenta o rendimento do carbono. Entre suas vantagens estão menores temperaturas de pirólise, maior rendimento e material com maior área superficial (COSTA et al., 2016).

Segundo Moraes (2014), resultados significativos foram obtidos por pesquisadores ao utilizarem matéria orgânica residual para a produção de carvão ativado e cita Jaguaribe *et al.* (2005) que produziu carvão ativado a partir de cana de açúcar e coco para remoção de cloro residual, obtendo elevadas áreas superficiais utilizando H_3PO_4 como ativante, pois este inflige modificação física e química através da penetração na estrutura. O KOH é muito seletivo e provoca modificações mais localizadas na estrutura, além de ser mais efetivo em matérias de estrutura ordenada.

A impregnação com $ZnCl_2$ causa um “inchaço”, em razão de uma ação eletrolítica, na estrutura molecular da celulose, como o material celulósico é abundante em materiais carbonosos, abre-se o caminho para que haja uma degradação deste material celulósico resultando em um desenvolvimento de uma estrutura propícia

para que, durante a carbonização, ocorra a desidratação do material e formação da estrutura porosa do carvão (NAMASAVAYAN & SANGEETHA, 2008).

Carvões ativados com $ZnCl_2$ possuem mais espaços entre as camadas de carbono, significando mais micro porosidade e maior área superficial quando comprado a um carvão que sem essa ativação. A ativação é realizada com soluções de $ZnCl_2$ a 10% ou 50% (m/m) (FERNADES, 2008).

3.6 ADSORÇÃO COM CARVÃO ATIVADO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

Os estudos na busca de um tratamento ideal para efluentes industriais esbarram em muitas variáveis que dificultam uma possível padronização, no que diz respeito a estes efluentes, pois cada indústria possui sua singularidade e suas diferentes matérias-primas utilizadas nos processos e até mesmo, a qualidade da água que lhe é concedida para a produção (DEZOTTI, 2008).

A alta demanda de efluentes, derivada das atividades industriais intensificadas, estes por sua vez, caracterizados por poluentes orgânicos e inorgânicos, tais como metais tóxicos, ânions, sais, entre outros, desencadeou a necessidade de desenvolver tecnologias buscando remover esses poluentes encontrados em resíduos líquidos e gasosos (NASCIMENTO et al., 2014).

Avaliando os tratamentos utilizados, a adsorção é um dos métodos mais populares para a remoção de poluentes das águas residuais (CRINI, 2005). Neste sentido, o estudo da adsorção evidenciou-se no cenário científico atual assumindo um papel importante como um processo de separação e purificação, com valor tecnológico e aplicações práticas na indústria com relação ao tratamento de efluentes (COONEY, 1999; CRINI, 2005; DABROWSKI, 2001; GURGEL, 2007; MCKAY, 1996 apud NASCIMENTO et al., 2014).

“A adsorção é uma operação de transferência de massa, a qual estuda a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos. Uma vez que os componentes adsorvidos, concentram-se sobre a superfície externa, quanto maior for esta superfície externa por unidade de massa sólida, tanto mais favorável será a adsorção. Por isso, geralmente os adsorventes são sólidos com partículas porosas” (RUTHVEN, 1984 apud NASCIMENTO, 2014, p. 14).

MOREIRA (2008) apud NASCIMENTO et al. (2014) destaca que a adsorção aplicada nas indústrias tornou-se um dos tratamentos mais eficientes em efluentes industriais, reduzindo os níveis de compostos tóxicos ao meio ambiente.

Carvões ativados são abundantemente utilizados como adsorventes em razão de sua área de superfície estendida, alta capacidade de adsorção, estrutura microporosa e reatividade de superfície especial. Desta forma, considera-se o carvão ativado como uma importante e econômica tecnologia para o tratamento da água, envolvendo processos de adsorção, de modo que a purificação de águas é o principal emprego deste adsorvente (HAMDAOUI & NAFFRECHOW, 2007).

O carvão ativado possui alto poder de versatilidade e adsorbabilidade quando comparado aos materiais sintéticos que são atualmente desenvolvidos. A sua superfície pode ser modificada resultando em um carvão ativado específico para um determinado tipo de aplicação (MONDAL et al., 2007 apud FERNANDES, 2008).

A adsorção de ânions entra em pauta nos últimos anos, recebendo mais atenção em pesquisas e trabalhos, de modo que alguns destes estão voltados para carvões ativados de diferentes matérias primas e condições de ativação na tentativa de uma remoção eficiente de ânions. Fernandes (2008), através de experimentos utilizando diferentes tipos de ativação concluiu que o carvão de endocarpo de coco da baía tratado com H_3PO_4 (EQFP), obteve melhores resultados quando comparado com os demais em relação à adsorção do íon Cl^- como é demonstrado na tabela 02.

Tabela 02 - Resumo dos resultados das experiências de adsorção do íon Cl^- com vários carvões.

Carvão	% $\text{Cl}^- \text{ g}^{-1}$
EQF	Não adsorve (5, 10, 15 min e 24 h)
EQF0,1	11,1 após 24 h
EQF1	Não adsorve (5, 10, 15 min e 24 h)
EQFP	> 36 após 5 minutos
EFP	12,3 após 24 horas
CFP	Não adsorve
BFP	5,48 após 24 h
EQP	19,6 após 24 h
EKP	Não adsorve
CCP	28,2 após 24 h

Fonte: FERNANDES, 2008.

EQF: Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com ZnCl_2 +fisicamente com vapor d' água;

EQFO,1: Carvão EQF tratado com HNO_3 0,10 mol L^{-1} ;

EQF 1: Carvão EQF tratado com HNO_3 1,0 mol L^{-1} ;

EQFP: Carvão EQF tratado com H_3PO_4 concentrado;

EFP: Carvão de endocarpo de coco da baía ativado fisicamente com vapor d' água e tratado com H_3PO_4 concentrado;

CFP: Carvão de casca de coco da baía ativado fisicamente com vapor d' água e tratado com H_3PO_4 concentrado;

BFP: Carvão de bagaço de cana-de-açúcar ativado fisicamente com vapor d' água e tratado com H_3PO_4 concentrado;

EQP: Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com ZnCl_2 e tratado com H_3PO_4 concentrado;

EKP: Carvão de endocarpo de coco da baía ativado com KOH e tratado com H_3PO_4 concentrado;

CCP: Carvão comercial fisicamente ativado e tratado com H_3PO_4 concentrado.

3.7 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

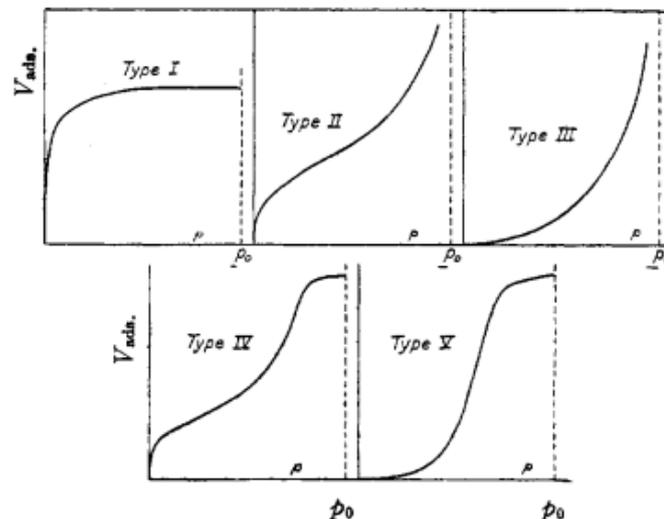
O equilíbrio de adsorção é essencial para obter informações importantes sobre a análise de um processo de separação por adsorção. Quando uma quantidade de sólido, o adsorvente, entra em contato com um certo volume de líquido, o adsorvato, a adsorção irá ocorrer até atingir o equilíbrio. É possível determinar uma isoterma de

adsorção através da mistura da massa de adsorvente com soluções de volumes diferentes e de concentrações conhecidas (NASCIMENTO et al., 2014).

Os dados de adsorção podem ser representados por várias equações de isotermas, onde as que se destacam são as de Langmuir e a isoterma de Freundlich que se aplicam muito bem para fenômenos de fisissorção e quimissorção, o modelo de Brunauer-Emmett-Teller (BET) e Equações de Dubinin (BANSAL & GOYAL, 2005). O trabalho com as isotermas de adsorção é um modo de avaliar a adsorção de uma molécula particular, pela ótica experimental as isotermas fornecem as primeiras informações e a partir destas é que se podem escolher o melhor adsorvente e definir aplicações (MORENO-CASTILLA, 2004).

ANDRADE et al. (2011) destaca que as isotermas foram classificadas de acordo com a sua forma e os processos que envolvem a obtenção dos dados. Em decorrência deste fato Brunauer et al. (1940) classificou as isotermas em cinco diferentes tipos conforme a figura 03.

Figura 03 – Isotermas classificadas segundo Brunauer.



Fonte: BRUNAUER et al., 1940.

A isoterma tipo I é peculiar à adsorventes microporosos, onde o fenômeno ocorre pelo preenchimento dos microporos e está diretamente ligada ao volume efetivo destes. As isotermas do tipo II e do tipo IV são características de adsorventes não porosos ou macroporosos com adsorção monocamada-multicamada irrestrita. Pressões mais baixas favorecem um volume maior de adsorção devido à interação molecular do adsorvato com as regiões energéticas do sistema. A formação de

multicamadas de moléculas adsorvidas é que confere a inflexão à curva. As isotermas do tipo III e do tipo V são caracterizadas pelas as interações adsorbato - adsorbato que são mais representativas do que as interações adsorvente – adsorvente (RUTHVEN, 1984).

Os mais utilizados são os modelos de Langmuir e Freudlich, que supõe a capacidade máxima de adsorção de um material e explicam o comportamento dos dados experimentais (NASCIMENTO et al., 2014 apud MORAIS, 2017).

A equação da isoterma de Langmuir é a primeira isoterma de adsorção desenvolvida teoricamente usando abordagens termodinâmicas e estatísticas. (BANSAL & GOYAL, 2005). O modelo de Langmuir foi originalmente desenvolvido para representar a quimissorção em diferentes sítios de adsorção (RUTHVEN, 1984).

“A equação modelo de Langmuir é uma das equações mais utilizadas para representação de processos de adsorção. Essa, por sua vez, apresenta os seguintes pressupostos: Existe um número definido de sítios; os sítios têm energia equivalente e as moléculas adsorvidas não interagem umas com as outras; a adsorção ocorre em uma monocamada; cada sítio pode comportar apenas uma molécula adsorvida” (NASCIMENTO et al., 2014).

A equação de Langmuir é representada pela seguinte equação:

$$q_e = \frac{q_{max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (\text{eq. 01})$$

Linearizando o modelo obtêm-se a equação a seguir:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max} K_L} + \frac{C_e}{q_{max}} \quad (\text{eq. 02})$$

Onde q_e é a quantidade do soluto adsorvido por grama de adsorvente no equilíbrio (mg.g^{-1}); q_{max} é a capacidade máxima de adsorção (mg.g^{-1}); K_L é a constante de interação adsorbato/adsorvente (L.mg^{-1}) e C_e é a concentração do adsorbato no equilíbrio (mg.L^{-1}).

O modelo de Langmuir apresenta algumas falhas para a quimissorção na qual envolve duas hipóteses, a primeira diz que todos os sítios são igualmente ativos e a segunda expressa que as moléculas já adsorvidas não interferem na adsorção dos sítios próximos. Sendo que, a segunda hipótese é falha tanto pela existência de

sítios com atividades diferentes, quanto pela interferência de moléculas desocupadas e que são adsorvidas nos sítios (BORGES, 2011).

O parâmetro R_L que, relacionado na isoterma de Langmuir indica o grau de desenvolvimento e da espontaneidade da reação de adsorção, foi calculado pela equação 03.

$$R_L = \frac{1}{1+K_L C_i} \quad (\text{eq. 03})$$

O valor de R_L sugere que adsorção é considerada favorável se ($0 < R_L < 1$), desfavorável se ($R_L > 1$), linear ($R_L = 1$) e irreversível ($R_L = 0$).

O modelo da isoterma de Freundlich propõe a relação da quantidade de material adsorvido e a concentração do material na solução. É um modelo que pode ser adotado em sistemas não ideais, em superfície heterogênea e adsorção em multicamada (CIOLA, 1981; MCKAY, 1996 apud NASCIMENTO et al., 2014).

A equação da isoterma de Freundlich é representada a seguir:

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (\text{eq. 04})$$

Linearizando o modelo obtêm-se a equação a seguir:

$$\ln q_e = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (\text{eq. 05})$$

Onde q_e é a quantidade de soluto adsorvido (mg.g^{-1}); C_e é a concentração de equilíbrio em solução (mg.L^{-1}); $1/n$ é a constante relacionada à heterogeneidade da superfície e K_f é a constante de capacidade de adsorção de Freundlich. O valor da constante n é primordial para definir a interação entre adsorvato e adsorvente, visto que compreendido entre $1 < n < 10$ indica um processo favorável.

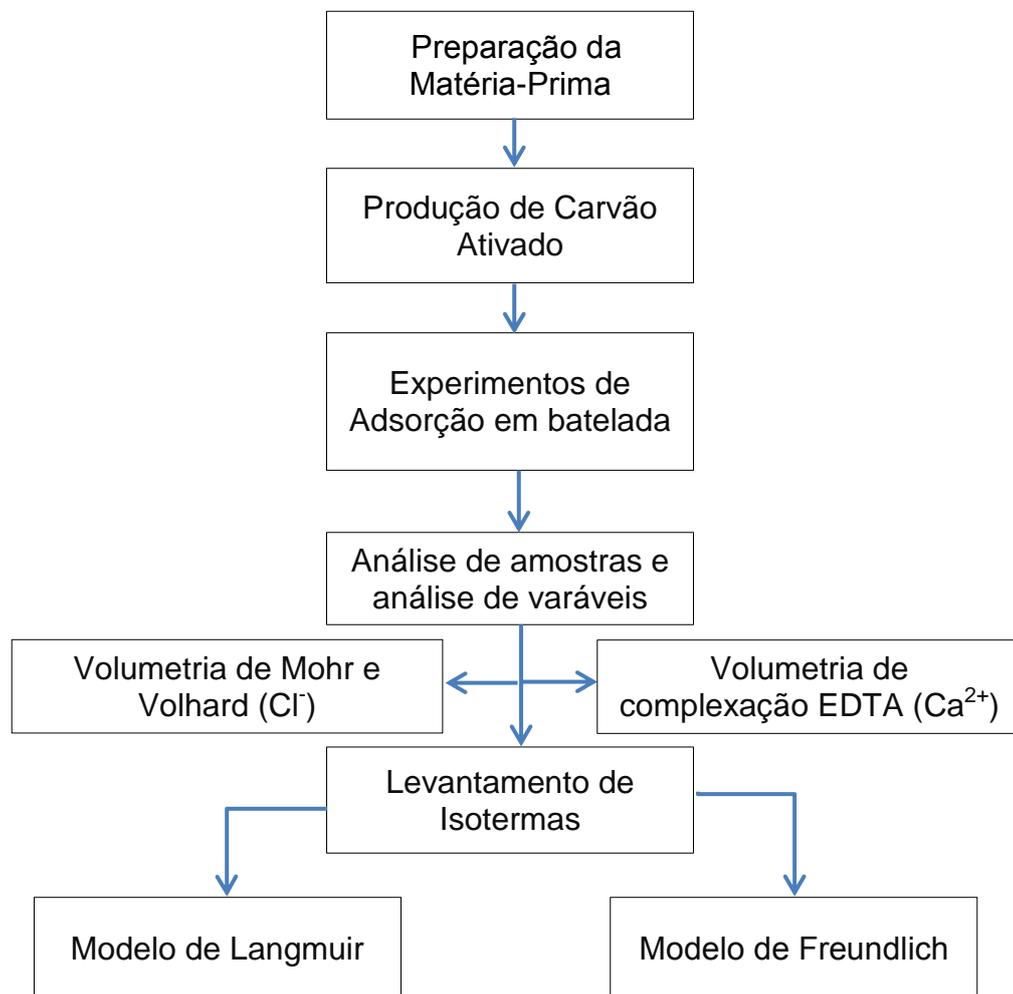
4 METODOLOGIA

O presente estudo foi desenvolvido no Laboratório de Pesquisa do Curso de Engenharia Química das Faculdades Integradas de Aracruz (FAACZ).

4.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a realização do presente trabalho é proposta a seguinte sequência que pode ser observada na figura 04.

Figura 04 – Etapas do procedimento experimental.



Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

4.2 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA PRIMA

Os cocos foram obtidos em uma propriedade rural, localizada no município de Fundão–ES, e seus endocarpos foram separados para posterior secagem.

Na preparação do carvão de ativado, o endocarpo de coco foi seco à temperatura ambiente e então foi submetido a um processo de trituração em um moinho de facas (Adamo) com intuito de selecionar partículas com granulometrias entre 1,19 – 2,00 mm, utilizando peneiras de 10 – 16# mesh da série de Tyler, com auxílio de agitador de peneiras (Solotest – 8x2 110/220-50/60Hz) (CAMBUIM, 2009).

4.3 PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO

A matéria-prima passou por um processo de impregnação com $ZnCl_2$ 100%, logo foi deixada na estufa por 15h a 80°C e posteriormente foi carbonizada a 500°C por 30 min em forno do tipo mufla (Quimis). Após, o carvão foi lavado com 250 mL solução de HCl 0,10 mol.L⁻¹ e posterior lavagem com água destilada (quente e fria alternadamente) com objetivo de eliminar o excesso de ácido. Em seguida o carvão foi levado para secagem em estufa (Quimis Q-317B-242) por 16 horas em temperatura de 110 °C (FERNANDES, 2008).

4.3.1 Tratamento com Ácido Fosfórico (H_3PO_4)

O tratamento do carvão ativado utilizando ácidos inorgânicos promove modificações tanto na estrutura porosa quanto em suas propriedades físico-químicas. O tratamento utilizando H_3PO_4 consistiu na impregnação de agentes desidratantes sobre o carvão, realizando posteriormente à carbonização. Inicialmente o carvão foi impregnado com H_3PO_4 concentrado sendo que para cada 1g de carvão foram utilizados 7 mL de ácido, permanecendo em agitação durante 30 min à 80°C em banho-maria. Após o tempo descrito, a mistura foi filtrada e lavada com água destilada e posteriormente levada para secagem em uma estufa (Quimis Q-317B-242) à temperatura de 110°C durante 16 horas antes de serem realizados os experimentos (FERNANDES, 2008).

4.4 EXPERIMENTOS DE ADSORÇÃO EM BATELADA

Com base nos dados obtidos, fornecidos por uma empresa do ramo de perfilados de alumínio, optou-se pela simulação do efluente, através de soluções que foram

preparadas para compor esta mistura, e que possuem concentrações altas de íons Cl^- e Ca^{2+} .

Para o preparo da solução rica nos referidos íons foram analiticamente pesados 14,76 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e dissolvido em 1 L de água, resultando em uma solução contendo $4023,56 \text{ mg.L}^{-1}$ de íons Ca^{2+} e $7118,48 \text{ mg.L}^{-1}$ de íons Cl^- .

Conforme metodologia adaptada de Fernandes (2008) para os ensaios de adsorção em batelada foram utilizados erlenmeyer de 100 mL de capacidade, aos quais foram adicionados 50 mL de amostra de solução, promovendo a variação do pH da amostra, a massa de adsorvente e o tempo de contato. A agitação foi realizada no equipamento Shaker (Marconi Duplicação MA 570).

As mesmas condições de pH, massa de adsorvente e tempo de contato foram estudadas e os experimentos foram realizados em temperatura ambiente. Após os testes o carvão foi separado da solução por meio de filtração por papel filtro e três alíquotas foram retiradas, para determinação da concentração dos parâmetros deste estudo através de titulação, conforme descrito nos itens 4.6.1 e 4.6.2 do presente trabalho. Todos os testes deste trabalho foram realizados em triplicata.

4.5 ANÁLISE DE AMOSTRAS E ANÁLISE DE VARIÁVEIS

4.5.1 Influência do pH

O pH das amostras foi aferido com o uso do pHmetro (Marconi MA 522). A influência do pH no processo de adsorção dos parâmetros estudados foi averiguada com diferentes valores de pH nas amostras dos respectivos para simular diferentes pontos de coleta, como demonstrado na tabela 03.

Tabela 03 – Ajustes de pH.	
pH	Ajuste
pH da solução	-
pH 3	HNO_3 $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$
pH 10	Solução Tampão

Fonte: Fernandes, 2008 – com modificações.

4.5.2 Influência da Massa de Adsorvente

Com o intuito de averiguar a influência da concentração de adsorvente, a massa do carvão ativado foi alterada nos concernentes testes. As massas testadas foram de 0,25 g, 0,50 g e 1,0 g. O pH para esta etapa foi selecionado conforme o melhor resultado obtido anteriormente (FERNANDES, 2008).

4.5.3 Influência do Tempo de Contato

Para investigação da influência do tempo de contato entre adsorvente e adsorbato nas amostras respectivas os testes foram realizados em tempos de 10 minutos até 6 horas. Conforme metodologia adaptada de Rheinheimer (2016) promoveu-se o teste com as melhores condições de massa e pH encontrados nos itens anteriores.

4.5.4 Determinação da Concentração dos Parâmetros

4.5.4.1 Íon Cloreto (Cl^-)

De acordo com Baccan et al. (1979), para a determinação da concentração de cloreto é necessário realizar uma volumetria de precipitação, como o método de Mohr e o método de Volhard, sendo cada um aplicado em uma faixa de pH. O método de Mohr consistiu na titulação do haleto, em soluções com pH entre 6,5 – 10, com uma solução padrão de nitrato de prata e teve como indicador o cromato de potássio. No ponto final, o cloreto foi completamente precipitado e o primeiro excesso de íons Ag^+ reage com o indicador promovendo a precipitação do cromato de prata e formando um complexo vermelho. O método de Volhard consistiu em determinar, em pH ácido, íons que precipitam com a prata, neste caso o íon Cl^- . O procedimento utilizou um excesso de uma solução de nitrato de prata adicionada à solução que contém íons cloreto. Através da titulação foi determinado o excesso da prata utilizando uma solução padrão de tiocianato de potássio ou de amônio usando íons Fe(III) como indicador. O ponto final da titulação foi observado através da geração de um complexo vermelho de ferro com tiocianato. Normalmente, o indicador é uma solução concentrada ou saturada de alumem férrico em ácido nítrico, que evita a hidrólise do íon de Fe(III) (BACCAN et al., 1979).

4.5.4.2 Íon Cálcio (Ca^{2+})

Conforme Baccan et al. (1979), a dureza foi determinada através de complexometria que utilizou EDTA como agente complexante.

4.6 LEVANTAMENTO DE ISOTERMAS DE ADSORÇÃO

Os dados das isotermas de adsorção foram aplicados nas equações linearizadas dos modelos de Langmuir (eq. 02) e de Freundlich (eq. 04), para confecção dos respectivos gráficos representativos de cada modelo e a definição dos parâmetros de Langmuir e os parâmetros de Freundlich.

Os modelos foram comparados entre si e foi indicado, para cada íon, o modelo que melhor se ajustou ao processo de adsorção estudado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 PREPARAÇÃO DO CARVÃO ATIVADO

O endocarpo de coco obtido foi seco em temperatura ambiente por um período de 24h sob a luz do sol para ser triturado no moinho de facas. Após a trituração os grãos obtidos passaram por peneiramento para se obterem partículas no intervalo de diâmetros desejado.

As partículas foram impregnadas com Cloreto de Zinco (ZnCl_2) 100% em agitação constante para promover e potencializar a formação de poros no processo de carbonização. Após a secagem na estufa o material carbonizado foi retirado e lavado com a solução de HCl $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ e com água destilada para retirar o excesso de ácido. Foi possível identificar uma coloração metalizada no material que pode ser proveniente do processo de impregnação com ZnCl_2 , demonstrada na figura 05.

Figura 05 – Material carbonizado após impregnação com ZnCl_2 .



Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

Após a lavagem e, contando com as perdas de cinzas e algumas partículas a massa final de carvão obtida foi de 157,52 g. Após o tratamento com H_3PO_4 , procederam-se com os testes de adsorção em solução de CaCl_2 0,1M. Todos os testes foram realizados em triplicata para que fosse possível obter maior precisão nos resultados.

5.2 EXPERIMENTOS EM BATELADA (Ca²⁺)

5.2.1 Análise de Amostras e Análise de Variáveis

Nos primeiros testes realizados, foi fixado um tempo de 60 minutos de agitação mecânica e uma massa fixa de 0,5 g de carvão para 50 mL de solução e os resultados para adsorção dos íons Ca²⁺ a partir de uma solução que continha 4023,56 ppm do referido íon. Os resultados estão expressos na tabela abaixo.

5.2.1.1 Influência do pH

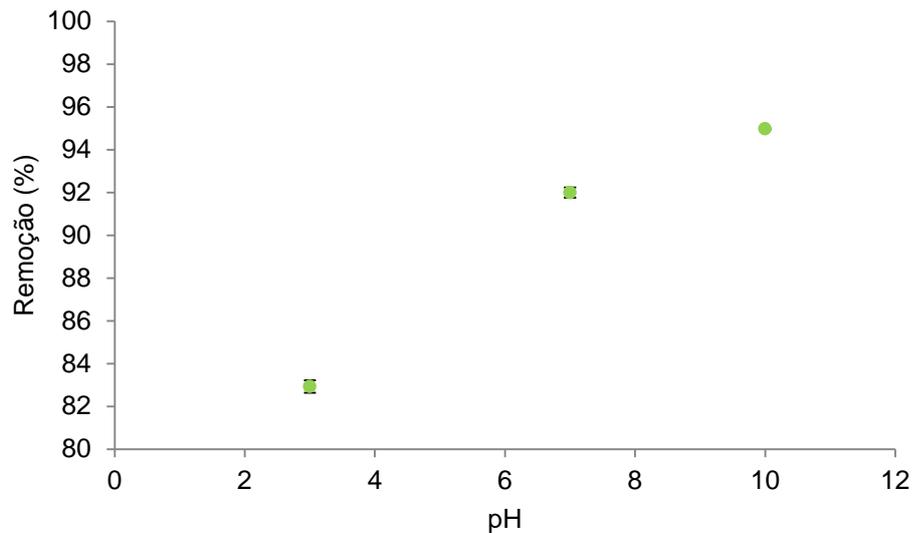
Através dos testes realizados nesta etapa foi possível obter um resultado com maior perspectiva para remoção do íon Ca²⁺, conforme a tabela 04.

Tabela 04 – Ensaio da influência do pH para adsorção de Ca²⁺.

pH	Volume médio (L)	Conc. final (ppm)	%remoção
3	0,0340	686,79	82,9 ± 0,29
7	0,0161	324,93	91,9 ± 0,24
10	0,0103	224,75	94,4 ± 0,04

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

Pode-se destacar que o pH 10 para o referido íon apresentou melhor condição para adsorção. Karnitz Júnior (2007) corrobora essa informação e destaca que adsorção de íons Ca²⁺ são mais significativas a partir de pH > 3,5 e que os resultados por ele encontrados indicam que o pH alcalino potencializa a adsorção de Ca²⁺ e o referido íon pode ser submetido a pHs mais altos sem que ocorra sua precipitação, como pode ser observado no gráfico 01.

Gráfico 01 – Remoção de Ca^{2+} sob influência do pH.

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

5.2.1.2 Influência da massa de adsorvente

Após a definição da melhor condição de pH, foram realizados os testes para encontrar a influência da massa de adsorvente em solução e os resultados estão expressos na tabela 05.

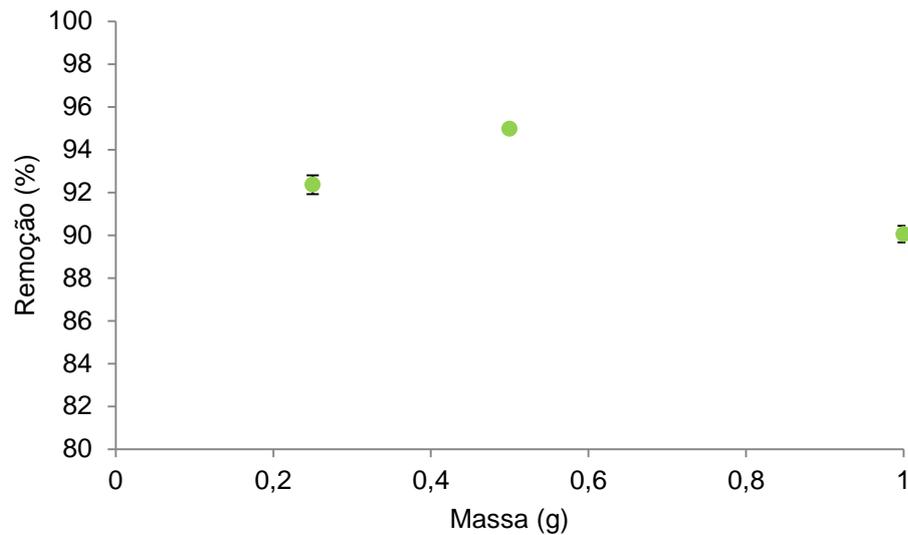
Tabela 05 – Ensaio da influência da massa de adsorvente para adsorção de Ca^{2+} .

Massa (g)	Volume médio (L)	Conc. final (ppm)	%remoção
0,25	0,0152	307,44	92,4 ± 0,43
0,50	0,0103	224,75	94,4 ± 0,04
1,00	0,0198	400,28	90,1 ± 0,39

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

É possível observar que existe um aumento perceptível ao se trabalhar o aumento de 0,25 para 0,5 gramas. Neste caso pode-se avaliar que o aumento substancial da quantidade de adsorvente disponível é diretamente proporcional ao número de sítios ativos presentes na amostra, potencializando o processo.

A redução da eficiência, em se tratando da massa de 1 grama, pode estar associada à capacidade de adsorção, haja vista que a concentração da solução foi fixa e que, neste caso, mesmo com o aumento dos sítios ativos pode-se considerar que o carvão obteve, em menores quantidades, uma capacidade adsorptiva maior. Porém, observando os resultados, é plausível dizer que, em suma, as três massas tiveram comportamentos minimamente semelhantes, como demonstrado no gráfico 02.

Gráfico 02 - Remoção de Ca^{2+} sob influência da massa de adsorvente.

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

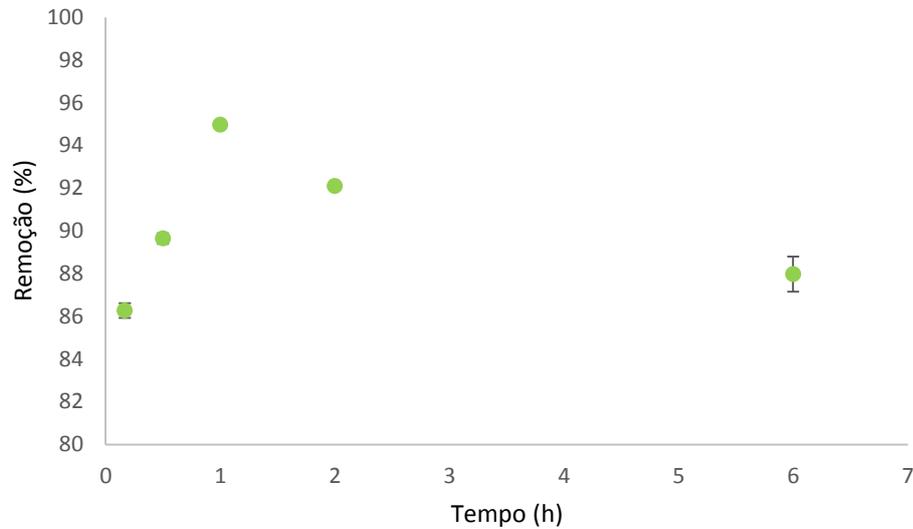
5.2.1.3 Influência do tempo de contato

Para analisar a influência do tempo de contato, foram propostos experimentos em tempos de 10 minutos até 6 horas, como demonstrado na tabela 06. Para potencializar o resultado, o experimento foi realizado nas condições encontradas de pH 10 e 0,5 g de massa de adsorvente, conforme os dados anteriores.

Tabela 06 – Ensaio da influência do tempo de contato para adsorção de Ca^{2+} .

Tempo (min)	Volume médio (L)	Conc. final (ppm)	%remoção
10	0,0273	552,38	86,3 ± 0,34
30	0,0206	416,35	89,7 ± 0,25
60	0,0103	224,75	94,4 ± 0,04
120	0,0157	344,10	91,4 ± 0,09
360	0,0239	522,81	87,0 ± 0,82

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

Gráfico 03 - Remoção de Ca^{2+} sob influência do tempo de contato.

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

A natureza da adsorção de íons em carvões ativados é complexa e pode ser, em suma, explicada por reações químicas ou a partir de modelos de complexação. Os modelos linearizados de Langmuir e Freundlich representam uma forma empírica e conveniente de descrição dos dados experimentais (Fernandes, 2008 apud Brow et al., 2000).

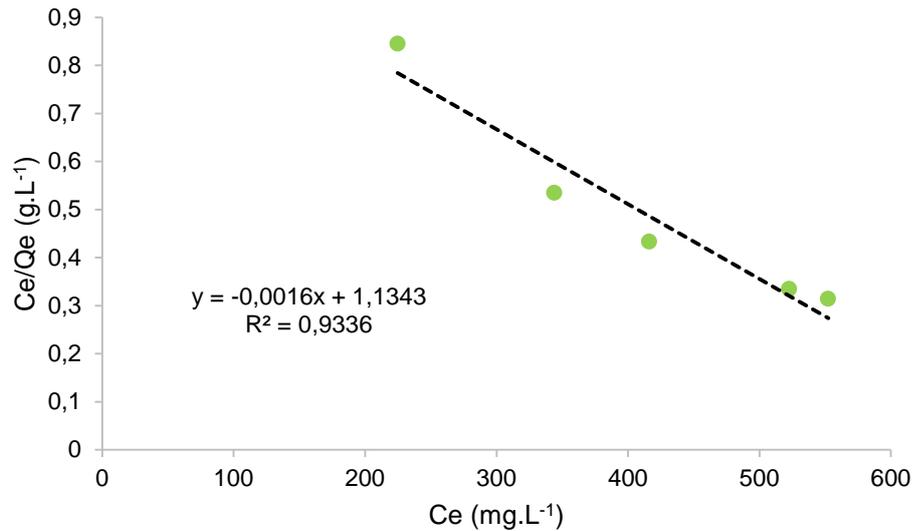
5.3 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO (Ca^{2+})

Para o cálculo das isotermas, foram utilizados os cinco pontos obtidos a partir dos testes em diferentes tempos de agitação, visto que através dos mesmos foram calculadas diferentes concentrações a serem avaliadas nos modelos de Langmuir e Freundlich, conforme evidenciado nas tabelas a seguir.

Tabela 07 – Dados de adsorção para Isoterma de Langmuir (Ca^{2+}).

Teste	Q_e (mg.g^{-1})	C_e (mg.L^{-1})	C_e/Q_e (g.L^{-1})
1	173,5587	552,38	0,3142
2	180,3601	416,35	0,4332
3	189,9405	224,75	0,8451
4	183,9728	344,10	0,7616
5	175,0375	522,81	0,3348

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

Gráfico 04 – Isoterma de Langmuir (Ca²⁺).

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

Tabela 08 – Constantes Isoterma de Langmuir.

R ²	Q _{max} (mg.g ⁻¹)	K _L (L.mg ⁻¹)	R _L
0,9336	625	0,0014	0,5314

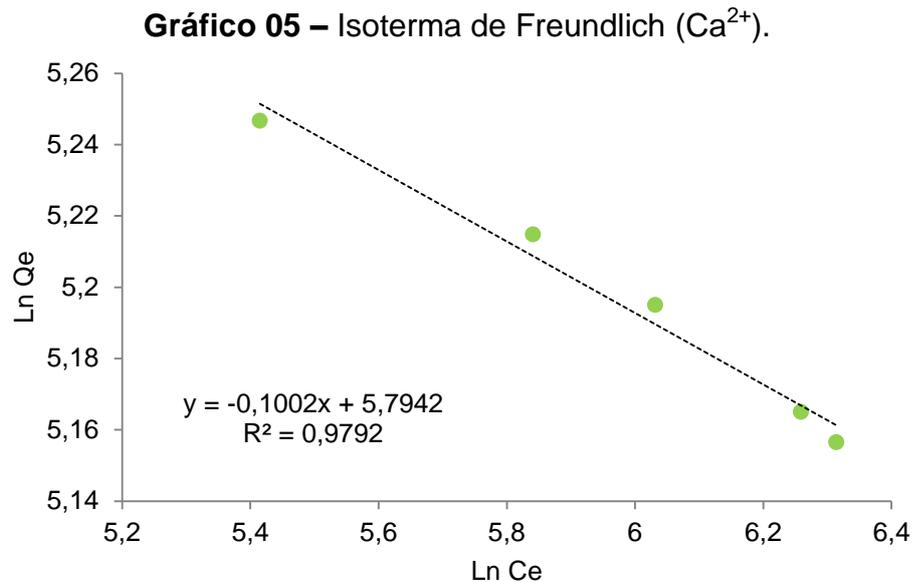
Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

O coeficiente de correlação calculado pela equação linearizada de Langmuir, pelo valor apresentado, demonstra que o modelo não possui uma aplicação satisfatória neste estudo de remoção do íon Ca²⁺. Vale destacar que o valor de R_L calculado demonstra que o processo de adsorção é favorável, por estar compreendido no intervalo de 0 a 1.

Tabela 09 – Dados de adsorção para Isoterma de Freundlich (Ca²⁺).

Teste	Ln Ce	Ln Qe
1	6,3142	5,1565
2	6,0315	5,1949
3	5,4149	5,2467
4	5,2148	5,8409
5	6,2592	5,1650

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.



Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

Tabela 10 – Constantes Isoterma de Freundlich (Ca²⁺).

R ²	K _F ((mg.g ⁻¹)(L.g ⁻¹) ^{1/n})	n
0,9792	328,3894	9,98

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

Levando em consideração o valor do coeficiente de correlação apresentado, indica-se que no sistema estudado o modelo de Freundlich é melhor ajustado para a adsorção do íon Ca²⁺ se comparado ao modelo de Langmuir que apresentou um valor de R² ligeiramente menor, evidenciando a heterogeneidade da superfície de adsorção e sendo concretizado pelo valor de n, que está compreendido no intervalo de adsorção favorável. Crispim (2009) identificou, através de seus estudos de adsorção de íons cálcio (II) que o carvão ativado quimicamente e tratado com H₃PO₄ é favorável ao modelo de Freundlich.

5.4 EXPERIMENTOS EM BATELADA (Cl⁻)

5.4.1 Análise de Amostras e Análise de Variáveis

5.4.1.1 Influência do pH

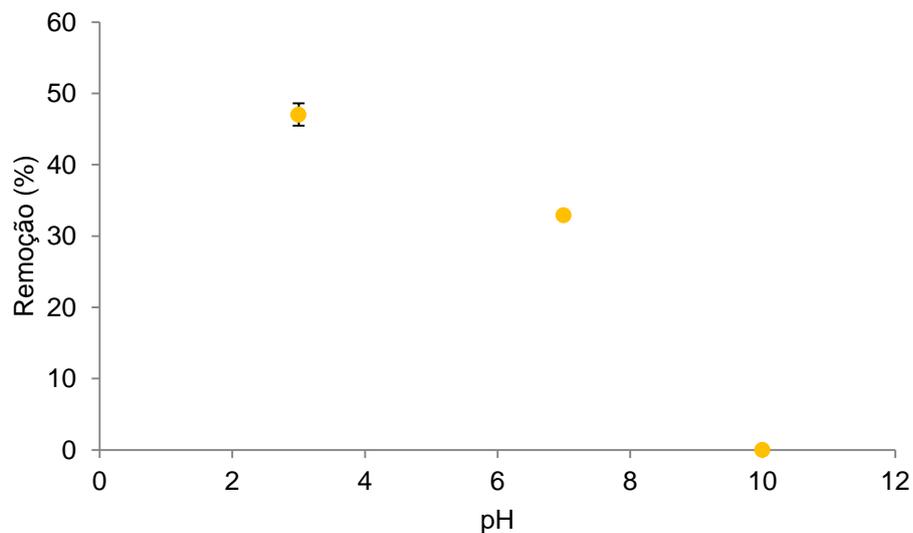
Semelhante ao procedimento anterior foi fixado um tempo de 60 minutos de agitação mecânica e uma massa fixa de 0,5 g de carvão para 50 mL de solução e os resultados para adsorção dos íons Cl⁻ a partir de uma solução que continha 7118,48 ppm do referido íon. Os resultados estão expressos na tabela 11.

Tabela 11 – Ensaio da influência do pH para adsorção de Cl^- em 60 minutos.

pH	Volume médio (L)	Conc. final (ppm)	%remoção
3	0,0094	3769,72	47,0 ± 1,6
7	0,0337	4774,81	32,9 ± 0,07
10	0,0514	7283,46	0,0 ± 0,07

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

A relação entre remoção do íon Cl^- e o pH da solução em agitação pode ser descrita como inversamente proporcional, tendo em vista que conforme o pH foi aumentando houve considerável diminuição do valor removido, como observado no gráfico 06. Fernandes (2008) destaca que o carvão que sofre o tratamento com H_3PO_4 possui carga positiva e que o pH na faixa de 3 atrai o referido íon. Daifullah et al. (2007) ao estudarem a remoção do íon F^- encontraram a mesma situação, o que corrobora a informação encontrada, uma vez que os íons possuem características eletronegativas semelhantes, e destacam que a remoção é extremamente dependente do pH aplicado.

Gráfico 06 – Remoção de Cl^- sob influência do pH.

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

5.4.1.2 Influência da massa de adsorvente

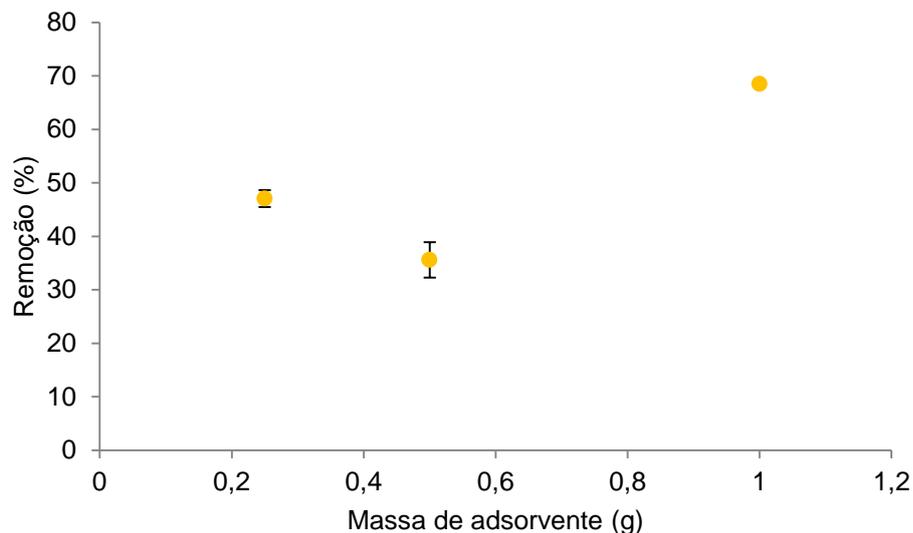
Os testes para encontrar a influência da massa de adsorvente em solução foram realizados, novamente, após a obtenção do resultado de melhor pH, conforme a tabela 12.

Tabela 12 – Ensaio da influência da massa de adsorvente para adsorção de Cl^- .

Massa (g)	Volume médio (L)	Conc. final (ppm)	%remoção
0,25	0,0094	3769,84	47,0 ± 1,6
0,50	0,0071	4585,25	35,6 ± 3,3
1,00	0,0137	2245,36	68,5 ± 0,6

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

A partir dos cálculos realizados para a determinação da concentração de Cl^- na solução estudada, foi possível observar, que, houve uma variação na remoção, porém algo que não seguiu um padrão. Ressalta-se que, por alguns motivos operacionais, foram encontrados alguns problemas com relação ao ponto de viragem do experimento proposto. Estes fatores podem influenciar diretamente no resultado final, tanto para avaliar a quantidade de remoção

Gráfico 07 - Remoção de Cl^- sob influência da massa de adsorvente.

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

Devido ao comportamento apresentado das três massas estudadas e seguindo a proposição de Fernandes (2008) a massa de 0,25 g foi utilizada nos próximos testes.

5.4.1.3 Influência do tempo de contato

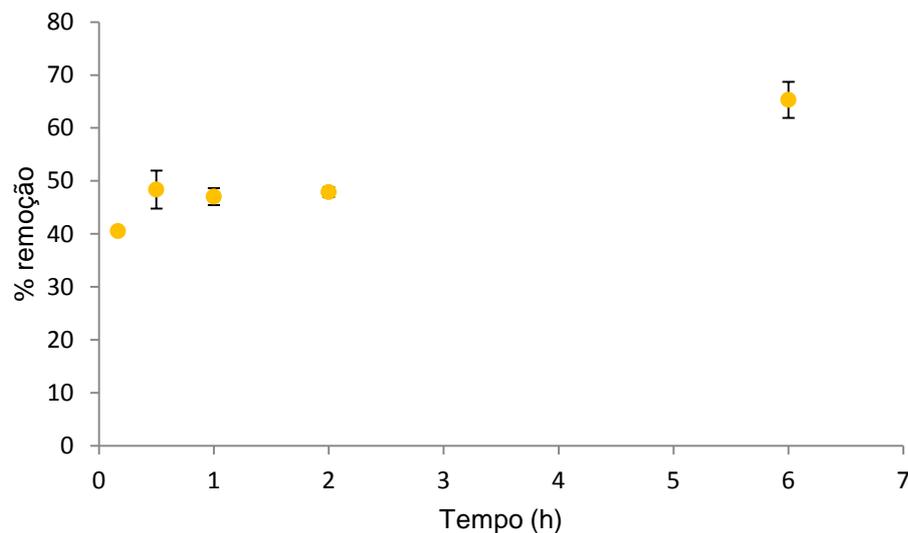
Seguindo a metodologia proposta, foram propostos experimentos em tempos de 10 minutos até 6 horas para avaliar a influência do tempo de contato na remoção de íons Cl^- da solução preparada. No intuito de potencializar o resultado, o experimento foi realizado nas melhores condições de pH e massa de adsorvente, encontrados nos testes anteriores.

Tabela 13 – Ensaio da influência do tempo de contato para adsorção de Cl^- .

Tempo (min)	Volume médio (L)	Conc. final (ppm)	%remoção
10	0,0081	4218,91	40,7 ± 0,33
30	0,0096	3687,11	48,2 ± 3,57
60	0,0094	3769,72	47,0 ± 1,58
120	0,0095	3722,57	47,7 ± 0,92
360	0,0130	2471,07	65,3 ± 3,40

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

Observa-se, através da tabela 13, que o sistema apresenta rápida adsorção. No tempo de 10 minutos foi apresentado um valor de 40,7% de remoção e logo após existe uma pequena estabilidade no sistema que retorna com um valor maior após o teste de agitação por 6 horas.

Gráfico 08 - Remoção de Cl^- sob influência do tempo de contato.

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

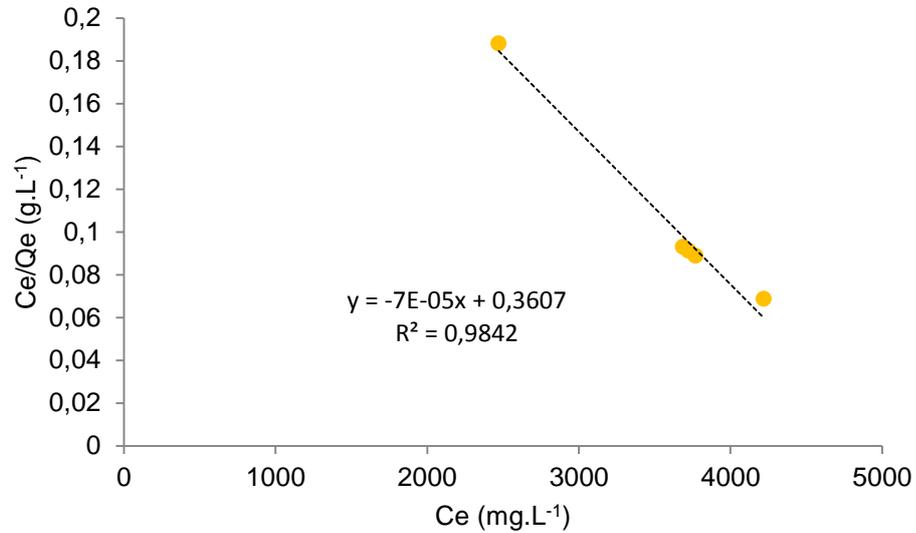
5.5 ISOTERMAS DE ADSORÇÃO (Cl^-)

Foram calculadas diferentes concentrações de Cl^- , a partir dos testes em tempos de contato diferentes, que foram avaliadas nos modelos de Langmuir e Freundlich, conforme evidenciado nas tabelas a seguir.

Tabela 14 – Dados de adsorção para Isoterma de Langmuir (Cl^-).

Teste	Q_e (mg.g^{-1})	C_e (mg.L^{-1})	C_e/Q_e (g.L^{-1})
1	93,9461	4218,91	0,0223
2	131,7644	3687,11	0,0357
3	125,9134	3769,72	0,0334
4	129,0446	3722,57	0,0347
5	242,2226	2471,07	0,0980

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

Gráfico 09 – Isoterma de Langmuir (Cl⁻).**Tabela 15 – Constantes Isoterma de Langmuir (Cl⁻).**

R^2	Q_{\max} (mg.g ⁻¹)	K_L (L.mg ⁻¹)	R_L
0,9842	$14,286 \times 10^3$	0,000194	0,265148

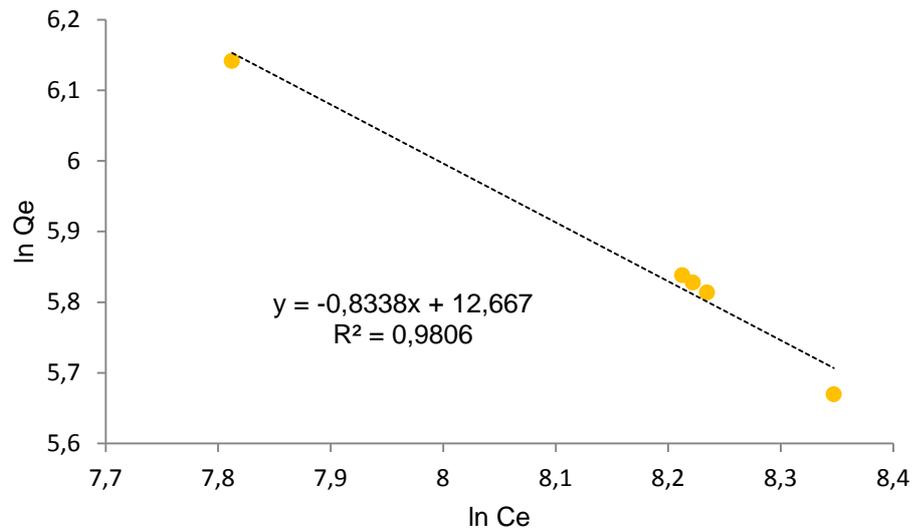
Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

Tabela 16 – Dados de adsorção para Isoterma de Freundlich (Cl⁻).

Teste	Ln Ce	Ln Qe
1	8,3473	5,6697
2	8,2126	5,8381
3	8,2348	5,8138
4	8,2227	5,8277
5	7,8124	6,1415

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

Destaca-se que o valor de R_L calculado demonstra que o processo de adsorção é favorável, por estar compreendido no intervalo de 0 a 1.

Gráfico 10 – Isoterma de Freundlich (Cl⁻).

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

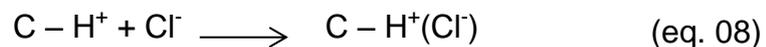
Tabela 17 – Constantes Isoterma de Freundlich (Cl⁻).

R ²	K _F ((mg.g ⁻¹)(L.g ⁻¹) ^{1/n})	n
0,9805	0,0789	1,199

Fonte: Arquivo Pessoal, 2019.

O modelo de isotermas de Langmuir é bastante ajustado ao proposto conforme evidenciado pelo valor do coeficiente de correlação (R²), bem como o valor do fator adimensional R_L, que se apresentou menor que 1, indicando que este processo é favorável. Bem como o modelo de Freundlich em que a constante n apresentou-se dentro do intervalo de 1 a 10 indicado um processo favorável de adsorção.

Fernandes (2008) descreve que o mecanismo de adsorção do íon Cl⁻, sobre a superfície ácida pode ser representada pela reação abaixo, onde a constante de equilíbrio se trata de K_L.



6 CONCLUSÕES

O endocarpo de coco da baía demonstrou ser um material eficiente, no que diz respeito à produção do carvão, por possuir alto teor de material carbonáceo. As características físicas observadas, após a produção do material carbonizado e lavado indicam que a impregnação com $ZnCl_2$ foi bem eficiente para a preparação do mesmo.

Através dos testes realizados para o íon Ca^{2+} identificou-se que para o mesmo, o carvão demonstrou ser eficiente, visto que para uma solução com alta concentração do referido íon alcançou percentuais maiores que 80%, chegando, na condição melhor estudada, em até 94% de remoção do íon. Jaguaribe et al. (2006) alcançaram um percentual de 97,2% de remoção do íon Ca^{2+} em amostras de água dura. Ao serem comparados, o modelo de Freundlich ofereceu uma melhor resposta frente ao modelo de Langmuir, indicando heterogeneidade na superfície de adsorção.

Para o íon Cl^- é importante destacar que a remoção não apresentou-se de maneira tão eficiente, quanto ao íon anterior, atingindo 65% de remoção em um tempo de 6 horas de agitação nas melhores condições de pH e massa de adsorvente. Fernandes (2008) obteve 64% de remoção do íon Cl^- em amostras preparadas de NaCl e com concentrações baixas. O modelo de Langmuir melhor representou o sistema estudando, indicando um sistema de adsorção monocamada.

Pode-se concluir que o carvão de endocarpo de coco da baía é eficaz na remoção de íons Ca^{2+} e não muito para o íon Cl^- , que conhecidamente é mais dificultoso em ser removido de soluções via processos convencionais. Em paralelo ao estudo, ao se associar as condições estudadas para a remoção dos íons, consideram-se condições extremas e que, em termos de operação industrial, não seria algo tangível para ser aplicado no tratamento dos referidos íons de modo simultâneo, devido às diferenças de pH e tempo de equilíbrio encontrados neste estudo.

REFERÊNCIAS

ALVES, R. F., ALVES J. L. F., Mangueira, E. S. V., GOMES, S. F., SENA, R. F. Produção de Carvão Ativado a Partir de Endocarpo de Coco da Baía Visando o Armazenamento de Gás Natural. João Pessoa- PB, 2015. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/conepetro/trabalhos/Modalidade_4datahora_29_03_2015_23_22_15_idinscrito_1777_71898b9ff62a9f1dcf39d2b9c146e66f.pdf>. Acesso em 19 de nov. 2018.

ANDRADE, R.D., LEMUS, R. PÉREZ, C. E. Models of Sorption Isotherms for Food: Uses and Limitations. Revista de la Facultad de Química e Farmacéutica, vol. 18, nº 3, Medellín 2011, p. 325-334. Disponível em: <<http://www.scielo.org.co/pdf/vitae/v18n3/v18n3a12.pdf>>. Acesso em 24 de nov. 2018.

ABAL. Produção de Alumínio Primário. (2019). Disponível em: <<http://abal.org.br/estatisticas/nacionais/aluminio-primario/producao-mensal/>>. Acesso em 10 de set. 2018.

BACCAN, N.; de ANDRADE, J.C.; GODINHO, O.E.S.; BARONE, J.S., Química Analítica Quantitativa Elementar. 1ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1979.

BANSAL, R. C.; GOYAL, M. Activated Carbon Adsorption. New York: CRC press, 2005. 470p.

BEAL, D. A., FERREIRA, S. C., RAUBER, D. RECURSOS HÍDRICOS: Uso de Água na Indústria - O Caso de Dois Vizinhos no Paraná-Pr. In: III Congresso Nacional de Pesquisa em Ciências Sociais Aplicadas – III CONAPE Francisco Beltrão/PR. Out. 2014. Disponível em: <http://cac.php.unioeste.br/eventos/conape/anais/iii_conape/Arquivos/Artigos/Artigoscompletos/ADMINISTRACAO/33.pdf>. Acesso em: 24 de out. 2018.

BEZERRA, A. F. Carvão ativado de endocarpo de coco da baía produzido em forno micro-ondas. 2012, p. 55. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Paraíba, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. João Pessoa-PB. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5357/1/arquivototal.pdf>>. Acesso em 19 de out. 2018.

BORGES, A. J. S. Adsorção de zinco e cobalto em um latossolo dos tabuleiros costeiros do recôncavo baiano. 2011. Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia. Salvador-BA. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/7267/1/TESE_DOUTORADO_ANDREA.pdf>. Acesso em 10 de dez. 2019.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1980-1987/lei->

6938-31-agosto-1981-366135-publicacaooriginal-1-pl.html>. Acesso em: 12 dez. 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria MS nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2005a. (Série E, Legislação em Saúde).

BRASIL. Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 5 set. 2018.

BROWN, P., JEFCOAT, I. A.; PARRISH, D.; GILL, S.; GRAHAM, E., Evaluation of the adsorptive capacity of peanut hull pellets for heavy metals in solution, *Advances in Environmental Research*, 4: 19, 2000

BRUNAUER, S., DEMING, L. S., DEMING, W. E., & TELLER, E. On a Theory of the van der Waals Adsorption of Gases. (1940). *Journal of the American Chemical Society*, 62(7), 1723–1732.

CAMBUIM, Karina Beltrão. Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com H₃PO₄ e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização e aplicações. – João Pessoa, 2008. 137p.

CARDOSO, J. G. D. R., CARVALHO, P. S. L. D., FONSECA, P. S. M. D., SILVA, M. M. D., ROCIO, M. A. R. A indústria do alumínio: estrutura e tendências. (2011). Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2499/3/A%20BS%2033%20A%20i%20nd%20C3%BAstria%20do%20alum%20C3%ADnio_estrutura%20e%20tend%20C3%AAncia_s_P.pdf>. Acesso em: 13 de set. 2018.

CEMBRA. O Brasil e o Mar no Século XXI. Edição virtual, 2012. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=dHPQBgAAQBAJ&pg=PT432&dq=a+import%C3%A2ncia+do+conama+357&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjltuwkvjeAhUGgZAKHbskAUQQ6AEIPTAE#v=onepage&q=a%20import%C3%A2ncia%20do%20conama%20357&f=false>>. Acesso em 28 de nov. 2018.

CHARCOSSET, C. A Review of membrane process and renewable energies for desalination. *Desalination*, 245, 214-231, 2009.

CIOLA, R. Fundamentos da catálise. São Paulo: Moderna, 1981.

CLAUDINO, A. Preparação de Carvão Ativado a Partir de Turfa e sua Utilização na remoção de Poluentes. 90f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86346/192226.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 09 de nov. 2018.

COONEY, D.O. Adsorption Design for Wastewater Treatment. Lewis Publishers, Boca Raton, 1999.

CORREA, M. U. Árvore do Conhecimento- Coco. Agência Embrapa de Informação e Tecnologia, 2006. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/coco/arvore/CONT000giw3qz5o02wx5ok05vadr1u5iye30.html>>. Acesso em 18 de janeiro de 2020.

COSTA, M.J.S.; FONSÊCA, J.A.C.; Avaliação da Dureza de Águas, Proveniente de Poços Tubulares da Cidade de São João do Rio do Peixe – PB, para Uso Como Fonte Alternativa. In: 2º SIMPÓSIO NORDESTINO DE QUÍMICA, Junho, 2016, Teresin – PI.

CRINI, G. Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment. (2005). Progress in Polymer Science, 30(1), 38–70.

CRISPIM, S. C. L. Remoção de Cálcio (II) em Solução Aquosa Por Meio de Carvões Ativados Submetidos a Tratamentos Superficiais. João Pessoa, 2009. 127 p.

DABROWSKI, A. Adsorption — from theory to practice. Advances in Colloid and Interface Science. (2001). 93(1-3), 135–224

DAIFULLAH, A., YAKOUT, S., & ELREEFY, S. (2007). Adsorption of fluoride in aqueous solutions using KMnO₄-modified activated carbon derived from steam pyrolysis of rice straw. Journal of Hazardous Materials, 147(1-2), 633–643.

DAVIS, M. L., CORNWELL, D.A. Introduction to Environmental Engineering. Third Edition, McGRAW-HILL, series in water resources and environment. 1998. 919p.

DEZOTTI, Márcia. Processos e Técnicas para o Controle Ambiental de Efluentes Líquidos. Rio de Janeiro: E-Papers, 2008. 360p.

FERNANDES, Fabiana Lopes. Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com ZnCl₂ e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização, modificações químicas e aplicação na adsorção de íon cloreto. João Pessoa, 2008. 92p.

FERNANDES, K. A. N.; SANTOS, F. A.; BRUN, G. W. Uso de carvão ativado de endocarpo de coco no tratamento de água. In: Salão de Iniciação Científica PUCRS, XI. 2010, Rio Grande do Sul. PUC-RS. 2010. Disponível em: <http://www.pucrs.br/edipucrs/XISalaoIC/Engenharias/Engenharia_Quimica/83854-KENDRADABREUNETOFERNANDES.pdf>. Acesso em 19 de out. 2018.

FIGUEIREDO, R.M.; Programa de Redução de Patógenos e Padrões e Procedimentos Operacionais de Sanitização. Coleção Higiene dos Alimentos - vol. 01. São Paulo: Manole, 1999. p. 73-78.

FILHO, H. R. G., ROCHA, E. F. C., OLIVEIRA, V. P. S. Produção e consumo de água dessalinizada em plataforma de petróleo. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes/RJ, v.8 n.2, p. 9-17, jul./dez. 2014. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/boletim/article/viewFile/2177-4560.v8n214-01/4315>>. Acesso em 18 set. 2018.

GIORDANO, G. Tratamento e Controle de Efluentes Industriais. Rio de Janeiro- RJ, 1999. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/LivialostGallucci/apostila-tratamento-de-efluentes-industriais>>. Acesso em 24 de set. 2018

GURGEL, L. V. A. Mercerização e modificação química de celulose e bagaço de cana-de-açúcar com anidrido succínico e trietilenotetramina: preparação de novos materiais quelantes para a adsorção de Pb (II), Cd (II), Cr (VI) e Cu (II). 2007. 203 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

HAMDAOUI, O., & NAFFRECHOUX, E. Modeling of adsorption isotherms of phenol and chlorophenols onto granular activated carbon Part I. Two-parameter models and equations allowing determination of thermodynamic parameters. (2007). Journal of Hazardous Materials, 147(1-2), 381–394.

HEYLMANN, K. K. A. Produção, Caracterização e Aplicação de Carvão Ativado de Carvão de Pêssego no Tratamento de Efluente Têxtil. 2015. Tese (Engenharia Ambiental Sanitária), Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/esa/files/2016/03/TCC-Kelly-Heylmann-1.pdf>>. Acesso em: 19 de out. 2018.

HUPFFER, H. M., WEYERMÜLLER, A. R. Direito 10: Novas Perspectivas do Direito. Universidade Feevale. Novo Hamburgo- RS, 2016. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=V_PQDgAAQBAJ&pg=PA220&dq=a+import%C3%A2ncia+do+conama+430&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwi8kcWOhfjeAhUFI5AKHbdnBw8Q6AEIKTAA#v=onepage&q=a%20import%C3%A2ncia%20do%20conama%20430&f=false>. Acesso em 28 de nov. 2018.

JAGUARIBE E. F., OLIVEIRA M. F. D. DE, VIEIRA H. M., MEDEIROS L. DE L., PORPINO K. K. P., CRISPIM S. C., E SOUTO U. T. C. P. Aplicação do Carvão Ativado de Bagaço de Cana-de-Açúcar e Endocarpo de Coco no Abrandamento da Dureza na Água. In: XLVI Congresso Brasileiro de Química, Salvador - BA, 2006. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2006/trabalhos2006/3/930-1087-3-T1.htm>>. Acesso em 17 de set. 2018.

KARNITZ JÚNIOR, O. Modificação Química do Bagaço de Cana e Celulose Usando Anidrido do EDTA. Uso Destes Materiais na Adsorção de Metais Pesados em Solução Aquosa. – Ouro Preto, 2007. 114p.

LEITE, Anderson Santos. Efeito da velocidade de vazamento e da fração de inoculante Al-5%Ti-1%B na microestrutura, propriedades mecânicas e desempenho em laminação da liga AA5052 produzida pelo processo Direct Chill. 2018. 102 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: < https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/10044/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_EfeitoVelocidadeVazamento.pdf >. Acesso em 28 de nov. 2018.

LU, L.; HE, J.; WEI, M.; EVANS, D.G.; DUAN, X., Uptake of chloride ion aqueous solution by calcined layered double hydroxides: Equilibrium and kinetic studies, *Water Research*, 40: 735, 2006.

MANAHAN, Stanley E. Química Ambiental. Bookman Editora LTDA, 9ª ed, Porto Alegre, 2013.

MANCUSO, P. C., SANTOS, H. F. dos. Reúso de Água. Manole, 1ª ed, Barueri – SP, 2003.

MANGUEIRA, E. S. V. Produção de carvão ativado a partir de endocarpo de coco da baía (*Cocos nucifera*) aplicado ao processo de adsorção do herbicida metribuzin. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/5539/1/arquivototal.pdf>>. Acesso em: 19 de out. 2018.

MARCONDES, J. G. Tratamento de Efluentes. Fundação Educacional do Município de Assis- FEMA- Assis, 2012. Disponível em: <<https://cepein.femanet.com.br/BDigital/arqTccs/0911290473.pdf>>. Acesso em 18 de janeiro de 2020.

MARTINS, C. R.; JESUS Jr., L. A. Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio Internacional. Documentos 184. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 2014. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/122994/1/Producao-e-comercializacao-Doc-184.pdf>>. Acesso em: 19 de out. 2018.

MCKAY, G. Use of adsorbents for the removal of pollutants from wastewaters. Boca Raton: CRC Press, 1996.

MEDEIROS, I.M.A.F. de; Abrandamento de Águas Via Troca Iônica. 2017. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

MIERZWA, José Carlos. O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria - estudo de caso da Kodak Brasileira / José Carlos Mierzwa. - São Paulo, 2002. 367p.

MONTE, M. B. M., ADAMIAN, R. Aspectos tecnológicos e econômicos da indústria de alumínio. 1 ed. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1994; MUNDO DAS MARCAS. Alcoa. Disponível em: < <http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/cetem/286/1/sed-22.pdf> >. Acesso em 28 de nov. 2018.

MORAES, E. D. Produção do Carvão Ativado a Partir do Mesocarpo do Coco-da-Baía (*cocusnuciferalinn*) utilizando H_3PO_4 , CH_3COONa e KOH como Ativantes. Natal-RN, 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/22732/1/EveraldoDantasDeMorais_DISSERT.pdf>. Acesso em 19 de nov. 2018.

MORAIS, Rayssa de Medeiros. Produção de carvões ativados preparados a partir de diferentes materiais precursores. 39f. Dissertação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017. Disponível em: <<https://tede.ufrj.br/jspui/bitstream/jspui/2203/4/2017%20-%20Rayssa%20de%20Medeiros%20Morais.pdf>>. Acesso em 22 de set. 2018.

MOREIRA, S. de A. Adsorção de íons metálicos de efluente aquoso usando bagaço do pedúnculo de caju: estudo de batelada e coluna de leito fixo. 2008. 133 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) - Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

MORENO-CASTILLA, C. Adsorption of organic molecules from aqueous solutions on carbon materials. (2004). *Carbon*, 42(1), 83–94.

NAMASIVAYAM, C., SANGEETHA, D. Application of coconut coir pith for the removal of sulfate and other anions from water. (2007). *Desalination*, 219(1-3), 1–13.

NASCIMENTO, I. J., STELA, E. R. Produção de Carvão Ativado a Partir da Moinha de Carvão Vegetal. In: – Encontro Internacional de Produção Científica UniCesumar. Maringá-PR, 2015. Disponível em: <http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2015/anais/Igor_Jose_do_Nascimento.pdf>. Acesso em: 19 de nov. 2018.

NASCIMENTO, R. F. do, DE LIMA, A. C. A., VIDAL, C. B., MELO, D. Q., RAULINO, G. S. C. Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais. Biblioteca de Ciências e Tecnologia, 2014.

NETO, J. L. R. Osmose reversa: limpeza química em membranas de dessalinizadores do Ceará. *Rev. Tecnol.*, Fortaleza, v.30, n.1, p. 61-76, jun. 2009. Disponível em: <<http://periodicos.unifor.br/tec/article/viewFile/5277/4127>>. Acesso em 18 de set. 2018.

PAZ, E. C. D.; PEDROZA, M. M.; OLIVEIRA, L. R. A.; PAZ, R. R. S. Alternativa de exploração sustentável dos resíduos do coco verde para a produção de energia. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*. Instituto Federal do Tocantins. 2017. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/49041/pdf>>. Acesso em 19 de out. 2018.

PEREIRA JÚNIOR, A., JESUS, E. S. As Múltiplas Visões do Meio Ambiente e os Impactos Ambientais. Edição digital: agosto de 2018. Paragominas- PA. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=vUBsDwAAQBAJ&pg=PT93&dq=a+import%C3%A2ncia+do+conama+430&hl=pt->>

BR&sa=X&ved=0ahUKEwi8kcWOhfjeAhUFI5AKHbdnBw8Q6AEILjAB#v=onepage&q=a%20import%C3%A2ncia%20do%20conama%20430&f=false>. Acesso em 28 de nov. 2018.

RHEINHEIMER, M. O. W. Remoção de Paracetamol por Adsorção em Carvão Ativado: Processo em Batelada e Coluna de Leito Fixo. 2016. 57f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul UFRGS, Porto Alegre, 2016.

RUTHVEN, D.M. Principle of adsorption & adsorption processes, John Wiley & sons, 1984.

SAI, P. M. S., & Krishnaiah, K. Development of the Pore-Size Distribution in Activated Carbon Produced from Coconut Shell Char in a Fluidized-Bed Reactor. (2005). Industrial & Engineering Chemistry Research, 44(1), 51–60.

SILVA, B. M., MACEDO, K. G., PINHEIRO, N. R., ROCHA R. S., E. P. A. Modelagem do Abrandamento da Água por Precipitação dos Íons Ca^{2+} e Mg^{2+} e Flotação por Ar Dissolvido. Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 1, p. 85-90, 2014. Disponível em: < <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobec-ic/01-ea-001.pdf> >. Acesso em 13 de set. 2018.

SILVA, D. F. M.; Produção de Adsorvente a Partir da Casca de Batata para a Remoção do Corante Direct Black 22 de Efluentes Industriais Sintéticos. Caruaru, PE. (2017).

SILVA, J. O. P. Reúso de água na indústria de curtimento de couros: estudo de caso no Distrito Industrial de Franca – SP. São Paulo, 2002.

SILVA, T. M. M.; OLIVEIRA, D. C. Aproveitamento do resíduo de coco verde no ambiente da Grande Vitória, Norte e Sul do Espírito Santo: estudo de caso. Encontro Interestadual de Engenharia de Produção, 2015, São João da Barra. Logística e Integração. São João da Barra: EINEPRO, 2015. v. 1. Disponível em: <<http://www.marcaambiental.com.br/backend/uploads/imagem/223c0a5cef894131a0e22272e767cfa3.pdf>>. Acesso em 19 de out. 2018.

SILVEIRA, Gustavo Echenique. Sistemas de tratamento de efluentes industriais. 2010. 42f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em: < <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/35193/000792974.pdf> >. Acesso em 5 de set. 2018.

SOARES, A. G. Adsorção de gases em carvão ativado de celulignina. 2002. 136p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Física Gleb Wataghin, Campinas, SP. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/277548/1/Soares_AlvaroGuedes_D.pdf>. Acesso em: 19 de out. 2018.

STEIN, R.T.; Caracterização e Avaliação do Sistema de Tratamento de Efluentes de uma Indústria Alimentícia, Visando o Reuso. 2012. 83f. Trabalho de Conclusão de Curso - Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas do Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2012.

TELLES, D. A, COSTA, R. H. P. G. Reuso da água: conceitos, teorias práticas. 1ª edição. São Paulo: Blücher, 2007.

TORRI, J.B. Dessalinização de água salobra e/ ou salgada: métodos, custos e aplicações. Porto Alegre - RS- Brasil. 2015. Disponível em: < <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/127799> >. Acesso em 18 set. 2018.

VICTORINO, Célia Jurema Aito. Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos / Célia Jurema Aito Victorino. - Porto Alegre, EDIPUCRS, 2007.