

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**



EUZENIR ALVES MELO OLIVEIRA

**CARVÃO DO CAROÇO DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea*) COMO
ADSORVENTE DO DODECIL SULFONATO DE SÓDIO (SDS)**

São Luís
2021

EUZENIR ALVES MELO OLIVEIRA

**CARVÃO DO CAROÇO DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea*) COMO
ADSORVENTE DO SURFACTANTE DODECIL SULFONATO
DE SÓDIO (SDS)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso da Engenharia Química da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Pereira Rodrigues

São Luís
2021

Oliveira, Euzenir Alves Melo.

Carvão do caroço de açaí euterpe oleracea como adsorvente do surfactante dodecil sulfonato de sódio sds / Euzenir Alves Melo Oliveira. - 2021.

39 f.

Orientador(a): José Roberto Pereira Rodrigues.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís - MA, 2021.

1. Açaí. 2. Carvão. 3. Cinética. 4. Dodecil Sulfato de Sódio. 5. Leito fixo. I. Rodrigues, José Roberto Pereira. II. Título.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. JOSÉ ROBERTO PEREIRA RODRIGUES
Orientador - DEEQ/CCET/UFMA

Prof. Dr. FABIO ALEJANDRO CARVAJAL FLOREZ
DEEQ/CCET/UFMA

Prof. Dr. MARCELO FABIO LEONARDO
DEEQ/CCET/UFMA

02 de junho de 2021

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre acreditaram e se esforçaram para que essa jornada fosse concluída.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pela oportunidade de entrar nesta instituição, por seu auxílio e abundantes graças derramadas durante toda a minha trajetória na graduação.

Ao meu orientador, Prof. José Roberto Pereira Rodrigues, por aceitar me instruir nesta etapa de finalização do curso, pelo tempo e paciência dedicados, pelo incentivo e auxílio até mesmo nas menores dúvidas.

Ao meu esposo, Kaique Oliveira, por todo amor, paciência, incentivo em atos e palavras, por todo suporte dado nesta reta final e auxílio de que precisei.

Aos meus pais, Eliana e Martin Melo, pelo trabalho incansável para que eu pudesse passar pela graduação sem grandes dificuldades, pela dedicação do tempo e de vida investida em forma de apoio incondicional durante minha formação e por serem meus grandes exemplos de persistência, sacrifício e fortaleza.

A minha tia Irene e ao meu padrinho José Fernando, pelo tempo que me acolheram em sua casa como filha, dando todo suporte, cuidado, incentivo e carinho.

Aos amigos que me incentivaram durante todo esse tempo, sendo com palavras e até mesmo com oração, ajudando nos momentos difíceis. Em especial, à Grazielle Patrícia Lobato por todos os conselhos e suporte.

A todos os professores e mestres com os quais tive a honra de aprender e me espelhar como profissionais.

Aos amigos que fiz neste período de graduação, que me ajudaram a persistir, com conhecimento, amizade e incentivo. Em especial, Larissa Nunes e Raquel Nascimento.

“Eu sou a videira e vós os ramos. Aquele que permanece em mim e eu nele produz muito fruto; porque, sem mim, nada podeis fazer.”

João 15, 5

OLIVEIRA, E. A. M. **CARVÃO DO CAROÇO DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea*) COMO ADSORVENTE DO SURFACTANTE DODECIL SULFONATO DE SÓDIO (SDS)**. 2021. 39 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

RESUMO

A qualidade da água potável tem vindo a demonstrar elevada importância para a existência humana e não pode ser subestimada, pois sem esta, a sobrevivência será praticamente impossível ou difícil. No entanto, a boa qualidade de água potável está a ser afetada, principalmente pela descarga de efluentes contendo contaminantes emergentes como o Dodecil Sulfonato de Sódio. Este é o principal componente da maioria dos produtos de limpeza, presente em produtos como detergentes para lavar louça, shampoos, pastas de dente, sabão para lavar roupa, entre outros e que constantemente estão no nosso dia-a-dia. O processo de adsorção com carvão ativado é considerado competitivo e versátil no tratamento de águas, no entanto, este tem um elevado custo, por isso a procura de adsorventes alternativos mais baratos tem aumentado. O principal objetivo desta pesquisa foi a avaliar o comportamento do carvão vegetal de açaí (*Euterpe oleracea*) no processo de adsorção do surfactante Dodecil Sulfato de Sódio (SDS), em solução aquosa, por processo de adsorção em bancada. Através de medidas de condutividade elétrica e pH foram determinadas a Concentração Micelar Crítica do Dodecil Sulfato de Sódio (SDS), o pH_{PCZ} e estudos sobre a cinética de equilíbrio. A partir dos resultados foi possível definir a viabilidade do uso do carvão de açaí no processo de adsorção do Dodecil Sulfato de Sódio (SDS), nas condições estabelecidas de concentração para o surfactante.

Palavras-chave: Açaí. Carvão. Cinética. Dodecil Sulfato de Sódio. Leito Fixo.

OLIVEIRA, E. A. M. AÇAÍ CORK COAL (*Euterpe oleracea*) AS ADSORBENT OF THE DODECIL SODIUM SULPHONATE SURFACTANT (SDS). 2021. 39 f. Graduate in Chemical Engineering – Curso de Engenharia do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

ABSTRACT

The quality of drinking water has been showing high importance for human existence and cannot be underestimated, because without it, survival will be practically impossible or difficult. However, the good quality of drinking water is being affected, mainly by the discharge of effluents containing emerging contaminants such as Dodecyl Sulfonate Sodium. This is the main component of most cleaning products, present in products such as dishwashing detergents, shampoos, toothpaste, laundry soap, among others and which are constantly in our daily lives. The adsorption process with activated carbon is considered competitive and versatile in water treatment, however, it has a high cost, so the demand for cheaper alternative adsorbents has increased. The main objective of this research was to evaluate the behavior of evaluating the behavior of açai charcoal (*Euterpe oleracea*) in the adsorption process of the surfactant Dodecyl Sulfate Sodium (SDS), in aqueous solution, by bench adsorption process. Through measurements of electrical conductivity and pH, the Critical Micellar Concentration of Sodium Dodecyl Sulfate (SDS), the pH_{PCZ} and studies on the equilibrium kinetics were determined. From the results it was possible to define the viability of using açai charcoal in the adsorption process of Sodium Dodecyl Sulfate (SDS), under the established concentration conditions for the surfactant.

Keywords: Kinetics. Dodecyl Sodium Sulfate. Fixed Bed. Coal. Açai

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma acerca das diversas aplicações do fruto do açaizeiro.....	5
Figura 2 – Representação do caroço de açaí antes da extração da polpa.....	6
Figura 3 – Esquema de um processo de pirólise aplicado à biomassa.....	8
Figura 4 Principais componentes da biomassa lignocelulósica e suas transformações mediante tratamento térmico.....	9
Figura 5 – Representação da estrutura molecular do dodecil sulfato de sódio.....	10
Figura 6 – Representação do caroço de açaí com fibras utilizado no processo de equilíbrio na adsorção do SDS.....	13
Figura 7 – Carvão vegetal de açaí obtido a partir de 350°C.....	15
Figura 8 – Comportamento da condutividade em função do número de lavagens feitas em carvão.....	16
Figura 9 – Comportamento da condutividade em função do número de lavagens Feitas em carvão.....	16
Figura 10 – Análise do ponto de carga zero de um determinado compósito.....	17
Figura 11 – Variação do pH em função do tempo em carvão vegetal de açaí com tamanho 1,18 mm.....	18
Figura 12 – Variação do pH em função do tempo em carvão vegetal de açaí com tamanho 2,36mm.....	18
Figura 13 – Avaliação da Concentração Micelar Crítica a partir da variação de condutividade.....	19
Figura 14 – Curva de calibração do Dodecil Benzeno Sulfonato de Sódio (SDS).....	20
Figura 15 – Cinética de equilíbrio na adsorção do surfactante SDS em carvão vegetal de açaí com tamanho 1,18mm.....	21
Figura 16 – Cinética de equilíbrio na adsorção do surfactante SDS em carvão vegetal de açaí com tamanho de 2,36mm.....	21

SUMÁRIO

	FOLHA DE APROVAÇÃO.....	ii
	DEDICATÓRIA.....	iv
	AGRADECIMENTOS.....	v
	EPIGRAFE.....	vi
	RESUMO.....	vii
	ABSTRACT.....	vii
	LISTA DE FIGURAS.....	ix
1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	3
2.1	OBJETIVO GERAL.....	3
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1	O CAROÇO DE AÇAÍ	4
3.1.1	Descarte inadequado de resíduos de caroços do açaí	5
3.1.2	Processo de calcinação do caroço de açaí	6
3.2	O DODECIL SULFATO DE SÓDIO (SDS)	9
3.3	CINÉTICA E EQUILÍBRIO NO PROCESSO DE ADSORÇÃO.....	10
4	MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1	LOCAL DA PESQUISA	12
4.2	MATERIAL ADSORVENTE.....	12
4.3	OBTENÇÃO DO CARVÃO VEGETAL DE AÇAÍ.....	12
4.4	PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO DE SDS	13
4.5	DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE DA LAVAGEM DO CARVÃO.....	13
4.6	DETERMINAÇÃO DO PONTO DE CARGA ZERO (PH_{PCZ}).....	13
4.7	DETERMINAÇÃO DE CONCENTRAÇÃO MICELAR CRÍTICA E CURVA DE CALIBRAÇÃO	13
4.8	DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE EQUILÍBRIO.....	14
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	15
5.1	ANÁLISE DO PREPARO DO CARVÃO DE CAROÇO DE AÇAÍ.....	15
5.2	ANÁLISE DA CONDUTIVIDADE DURANTE A LAVAGEM DO CARVÃO VEGETAL DE AÇAÍ	15
5.3	ANÁLISE DO PONTO DE CARGA ZERO (PH_{PCZ})	17

5.4	ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO MICELAR CRÍTICA E CURVA DE CALIBRAÇÃO	19
5.5	ANÁLISE DA CINÉTICA DE EQUILÍBRIO	20
6	CONCLUSÃO	22
	REFERÊNCIAS	23

1 INTRODUÇÃO

A contaminação das águas naturais é um dos grandes problemas sociais, que gera preocupação constante e conduz à elaboração de novas normas e regimentos que estabeleçam limites na descarga de contaminantes, a fim de minimizar o impacto ambiental (KUNZ, 2002). Uma considerável quantidade de surfactante é liberada no ambiente, causando problemas de poluição, principalmente em cidades cortadas por rios, onde as pessoas utilizam a água para lavar roupa, louça e veículos (BEZERRA, 2012). Estes surfactantes são responsáveis por causar espuma nos rios e superfície das águas, reduzindo a dissolução do oxigênio na água e causando riscos ambientais para organismos aquáticos (EICHHORN, 2002 apud TAFFAREL, 2010).

Por terem origem sintética e estruturas moleculares aromáticas complexas, os corantes, assim como os tensoativos, se tornam mais estáveis nas condições ambientais, sob os efeitos da luz, pH e ataque microbiológico e têm maior dificuldade de biodegradação (GULNAZ et al., 2006; FU & VIRARAGHEVAN, 2001). Por conta disso, o tratamento destas espécies contaminantes, através da aplicação de tratamentos biológicos ou tradicionais, como o lado ativado ou biodigestores tornam-se pouco eficientes para a remoção das espécies nos efluentes. Além disso, o uso de membranas (nanofiltração e osmose reversa) é avaliado com uma boa proposta para minimização de resíduos nos efluentes, pois a técnica consiste na separação efetiva de moléculas com dimensão suficientemente grande para serem separadas do meio aquoso, tornando rápido e satisfatório o tratamento de grandes volumes de rejeito. No entanto o custo é alto e a limpeza das membranas é complexa (ANJANEYULU *et al.*, 2005; GUARANTINI & ZANONI, 2000).

Para as indústrias, a busca de novas tecnologias encontra-se na necessidade de processos mais eficientes na remoção dos contaminantes, processos menos onerosos de menor custo de instalação e operação, unidades mais compactas que operem com maior flexibilidade e com bom desempenho na remoção dos compostos tóxicos (GUELLI U. DE SOUZA et al., 2008).

Diversos estudos vêm sendo desenvolvidos, na tentativa de solucionar esses problemas de poluição aquática. A adsorção em carvão ativado é um dos processos de tratamento que vem sendo amplamente estudado e tem demonstrado ser uma boa alternativa para a remoção de compostos recalcitrantes (BORBA, 2006). As suas vantagens envolvem o baixo custo de implantação e a facilidade na sua operação frente aos demais métodos, além de apresentar elevada eficiência em muitos sistemas (RIVERA-UTRILLA et al., 2013, FAUZIAH; DRAMAN; MOHD, 2015).

Em processos industriais, a adsorção geralmente é conduzida de forma contínua em uma coluna de leito fixo. O efluente a ser tratado atravessa o leito que contém o adsorvente com velocidade constante, permitindo que as partículas sólidas de carvão adsorvam os componentes presentes na fase fluida (GEANKOPLIS, 1993). Neste sentido, a condução de testes rápidos de coluna em pequena escala é importante para compreender a dinâmica de adsorção do poluente e possibilitar a sua aplicação em escala real (GARCÍA-MATEOS et al. 2015, NGUYEN et al. 2011).

No Estado do Maranhão, o Açaí possui grande importância econômica e nutricional. Além disso, constitui-se como fonte de renda para muitos comerciantes e famílias extrativistas. Apesar de ser uma fonte de material lignocelulósico renovável, o açaí representa, atualmente, um grave problema de limpeza pública devido a grande quantidade de resíduo constituídos basicamente de fibras e caroço. (ROGEZ, 2000; RODRIGUES et al., 2006).

Devido o grande consumo de açaí nas regiões de produção, e atualmente em nível nacional, muitas pesquisas têm sido feitas sobre a polpa do açaí, mas raros os trabalhos em ênfase nos resíduos (fibra, caroço, etc.). O descarte é comumente feito em vias públicas, terrenos baldios ou lixões a céu aberto, sem nenhum tratamento. Os caroços são amontoados em locais inadequados tais como feiras livres, calçadas, sem nenhum tipo de aproveitamento previsto, sendo normalmente considerado “lixo”.

Diferentes métodos têm sido investigados para a utilização do resíduo da extração da polpa de açaí, como a sua utilização para geração de energia (REIS et al., 2002; RODRIGUES et al., 2002), para produção de adubo (TEIXEIRA et al., 2004) e para extração de antioxidante.

Entretanto, sua caracterização física e química, e a forma para sua reutilização ainda não foram bem definidas. Nesse sentido, o aproveitamento dos resíduos da extração da polpa de açaí como recheio em colunas de leito fixo no tratamento de efluentes daria uma destinação final conveniente, bem como, fecharia o ciclo de vida do produto de maneira sustentável e ambientalmente correta.

Neste trabalho foi analisada a cinética da reação de adsorção do SDS pelo carvão do caroço de açaí, para o tratamento de águas residuais com excesso de cálcio.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o comportamento do carvão vegetal de açai (*Euterpe oleracea*) no processo de adsorção do surfactante Dodecil Sulfato de Sódio (SDS).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter o carvão vegetal de açai em diferentes temperaturas;
- Determinar a Concentração Micelar Crítica do surfactante SDS;
- Avaliar a cinética de equilíbrio na adsorção do surfactante SDS frente ao carvão vegetal de açai;
- Avaliar o pH ponto de carga zero do carvão vegetal de açai;
- Avaliar o Potencial de remoção do surfactante em diferentes concentrações de SDS.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O CAROÇO DE AÇAÍ

O açaí é uma fruta de elevado valor socioeconômico para a população amazônica e é produzido por uma palmeira conhecida como açazeiro (*Euterpe oleracea*, Mart.) (GANTUSS, 2006). O principal produto obtido a partir desta fruta é conhecido como "vinho do açaí", sendo considerado como um alimento predominante no dia-a-dia de muitas famílias (PEREIRA & RODRIGUES, 2013). O fruto do açaí possui formato arredondado, com diâmetro de 1 a 2 cm e peso médio variando de 0,8 a 2,3 g. Além disso, seu epicarpo possui cor violáceo-púrpura quase negro. O mesocarpo é bastante fino, dispondo de apenas 1 a 2 mm de espessura. A parte comestível do fruto relaciona-se ao mesocarpo e epicarpo (REIS et al., 2002).

As palmeiras localizam-se, principalmente, no baixo Amazonas, Tocantins, Maranhão e Amapá, chegando até as Guianas e a Venezuela. Devido a sua cor roxa escura, seu sabor exótico e seu alto valor nutricional, acabou ganhando o interesse de consumidores no mundo inteiro (COSTA, 2014). Ademais, quanto a sua utilização, o açaí é extremamente versátil. Ele pode ser empregado como planta ornamental no paisagismo, na cobertura de moradias de áreas rurais, na alimentação, como remédio – vermífugos, como ração animal, como adubo orgânico, etc. A Figura 1, descreve as diversas aplicações do fruto do açazeiro. No que se refere ao mercado, a demanda por açaí é crescente, sendo comercializado em todo o território brasileiro, não se restringindo apenas à região produtora (JUNQUEIRA, BASSO & SOUZA, 2017).

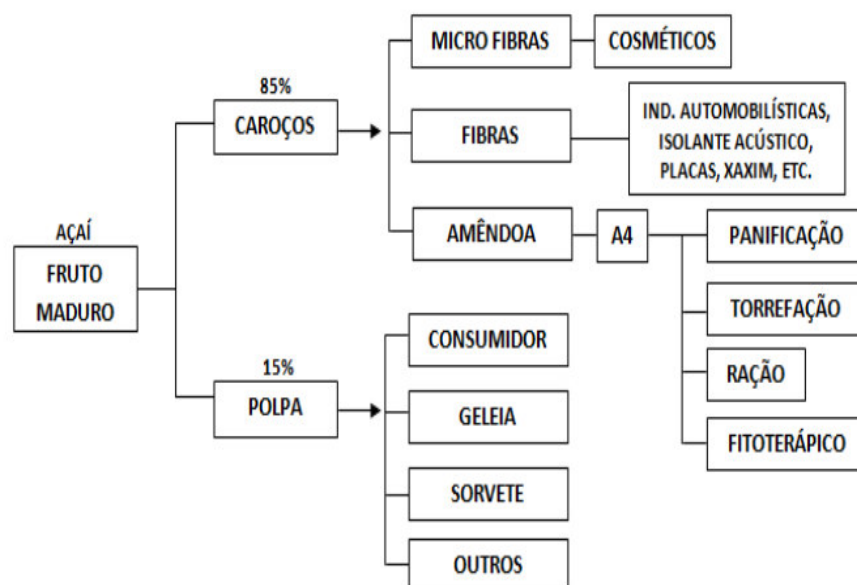


Figura 1 – Fluxograma acerca das diversas aplicações do fruto do açazeiro

Fonte: Costa (2014)

Em meio a esse contexto, observa-se que o caroço de açaí é considerado como o principal subproduto do processamento do fruto para a obtenção da polpa. (CORDEIRO et al., 2017). O caroço constitui aproximadamente 83% do fruto e é formado por um pequeno endosperma sólido ligado a um tegumento que na maturidade é rico em celulose, hemicelulose e cristais de inulina, antes é rico em lipídeos. Um epicarpo fibroso, rico em sílica e um endocarpo pouco lenhoso (REIS et al., 2002). Devido à enorme quantidade de açaí comercializada atualmente, os resíduos gerados são muito grandes. Esse resíduo consiste basicamente em caroço, sementes e fibras (RANGEL, 2014). A Figura 2 representa o caroço de açaí antes da extração da sua polpa.



Figura 2 – Representação do caroço de açaí antes da extração da polpa

Fonte: Revista Globo Rural

3.1.1 Descarte inadequado de resíduos de caroços do açaí

A Política Nacional de Resíduos (BRASIL, 2010) determina que todos os resíduos devem possuir um destino ambientalmente adequado. Algumas maneiras de evitar danos à saúde pública e minimizar os impactos ambientais é através da reciclagem, compostagem, recuperação ou aproveitamento energético. Entretanto, observa-se que os resíduos originados pelo despulpamento do fruto do açaí estão sendo tratados como lixo urbano, o que ocasiona diversos transtornos para a coleta e faz com que esses rejeitos não possuam o tratamento adequado (COSTA, 2014). Esse descarte inapropriado é responsável por produzir entulhos nas ruas das cidades, terrenos baldios e lixões clandestinos, podendo gerar gases de efeito estufa

quando reagidos com outros elementos (CORDEIRO et al., 2017). Além disso, esse caroço é um material de difícil decomposição, por apresentar um alto teor de lignina, variando de 11,5 a 24% (PEREIRA & RODRIGUES, 2013).

Uma possível solução para essa problemática seria o desenvolvimento de projetos que promovessem o beneficiamento do caroço do açaí por parte do poder público, frisando a importância de um destino final ecologicamente correto a esse resíduo. Todavia, a inexistência dessas medidas estimula o desenvolvimento de pesquisas relacionadas a um melhor aproveitamento desse subproduto (COSTA, 2014). Esse rejeito pode ser transformado em combustível de biomassa verde, na forma de peletes, possuindo diversas aplicações, tais como geração de energia elétrica, mecânica e gás combustível (CORDEIRO et al., 2017).

Além disso, o elevado potencial calorífico que o caroço de açaí possui reforça a sua utilidade para a geração de energias diversas. Estudos comprovam que a potência calorífica do caroço no processo de combustão figura em torno de 4.500 Kcal/Kg. A composição química desse subproduto também apresenta uma alta quantidade de celulose, lignina e um baixo teor de cinza e umidade, que enfatizam a sua possível aplicação para a produção de carvão vegetal, conferindo valor agregado a esse resíduo (CORDEIRO et al., 2017). A Tabela 1 descreve a composição química do caroço de açaí.

Tabela 1: Composição química do caroço de açaí

Umidade	9,60%
Extrato estéreo	3,01%
Extrato alcoólico	9,32%
Extrato aquoso	2,80%
Proteínas brutas	4,34%
Hemicelulose	12,26%
Celulose	34,41%
Lignina	12,72%
Cinzas	1,34%

Fonte: Reis et al. (2002)

3.1.2 Processo de calcinação do caroço de açaí

Os materiais lignocelulósicos possuem biopolímeros em sua composição, que consistem em vários tipos de células, cujas paredes celulares são compostas de celulose, hemicelulose e lignina. Esses três componentes essenciais, quando combinados, tornam-se insolúveis e são difícil separação. Uma das formas mais antigas e simples de converter esses materiais lignocelulósicos em outros tipos de químicos é através da pirólise. Esse processo

consiste, basicamente, na degradação de materiais macromoleculares a partir do calor e em ausência de oxigênio. Durante a pirólise ocorrem reações primárias e secundárias (MEIER & FAIX, 1999). Esse fenômeno também pode ser chamado de termólise ou craqueamento térmico e é especialmente adequado para a reciclagem química de resíduos. A Figura 3 ilustra um resumo esquemático acerca do processo de pirólise aplicado a biomassa. (PARADELA, 2012).

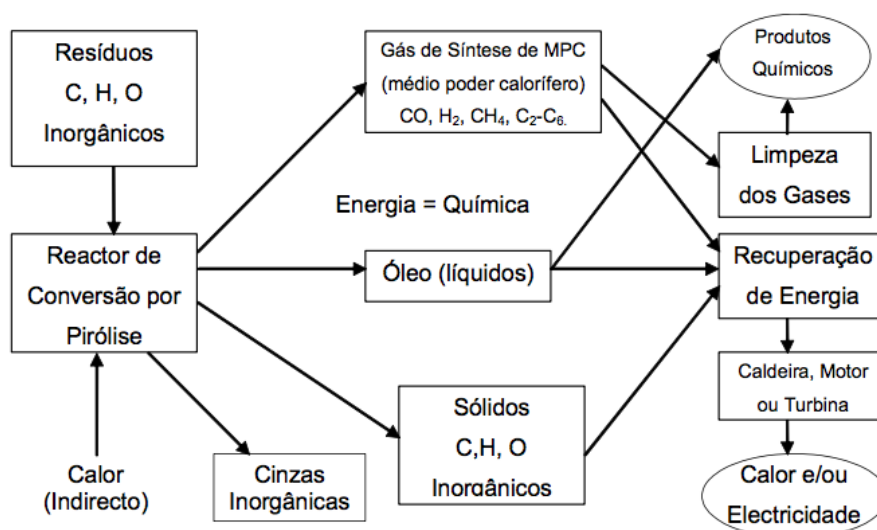


Figura 3 – Esquema de um processo de pirólise aplicado à biomassa

Fonte: Paradela (2012)

O termo pirólise é responsável por caracterizar a decomposição térmica de materiais que contêm carbono, em ausência total de oxidante. Dessa forma, madeira, resíduos agrícolas ou qualquer outro tipo de material orgânico é capaz de sofrer decomposição, originando três diferentes fases. A primeira fase é a sólida, conhecida como carvão vegetal, a segunda fase é a gasosa e a terceira é a líquida, normalmente designada de fração pirolenhosa. Além disso, o tipo de matéria orgânica utilizada no procedimento é capaz de variar a presença de oxigênio, sendo que a introdução desse composto permite a continuidade desse fenômeno, proporcionando um aumento de rendimentos (PANNIRSELVAM et al., 2005).

No que se refere às fases formadas durante a pirólise, a fração sólida consiste principalmente em cinzas e carbono, sendo este dependente da temperatura empregada no processo. Esses produtos podem ser utilizados para a fabricação de carvão vegetal e também como combustíveis (LORA, 2012). Já a fase líquida, também conhecida como óleos pirolíticos, constitui-se de uma mistura complexa de componentes aromáticos e alifáticos oxigenados. De modo geral, essa fração líquida é caracterizada por hidrocarbonetos que possuem um importante conteúdo energético, podendo ser aproveitada em câmaras de combustão, motores a diesel e

turbinas (SANTOS, 2017). Além disso, a fração gasosa também é combustível, sendo constituída, em sua maior parte, por hidrocarbonetos (LORA, 2012).

No processo de pirólise do caroço de açaí, a hemicelulose é o primeiro componente a sofrer decomposição, geralmente entre 200 e 260°C. Essa decomposição produz ácido acético, furfural e furano. Já a celulose se degrada entre temperaturas que variam de 240 a 350°C, resultando principalmente em formaldeído, hidroxiacetaldeído, acetol, levoglucosano e 5-hidroximetilfurfural. Ademais, a lignina, por possuir maior complexidade estrutural, forma uma enorme variedade de produtos, como pequenas quantidades de fenóis monoméricos e fragmentos oligoméricos. E, por último, tem-se a fração mais pesada do bio-óleo, sendo o último componente a se degradar, em temperaturas que podem ir de 280 a 500°C.

Essa última degradação é capaz de produzir fenol e seus derivados, como catecol, resorcinol, hidroquinona, guaiacol, eugenol, siringol, cresol, dimetilfenol e trimetil fenol, além de produtos oligoméricos, principalmente em que o anel benzênico se polimeriza, como naftaleno, antraceno e bifenilo (SANTOS, 2017). A Figura .4 apresenta um resumo esquemático acerca dos principais componentes da biomassa lignocelulósica e suas transformações mediante tratamento térmico.

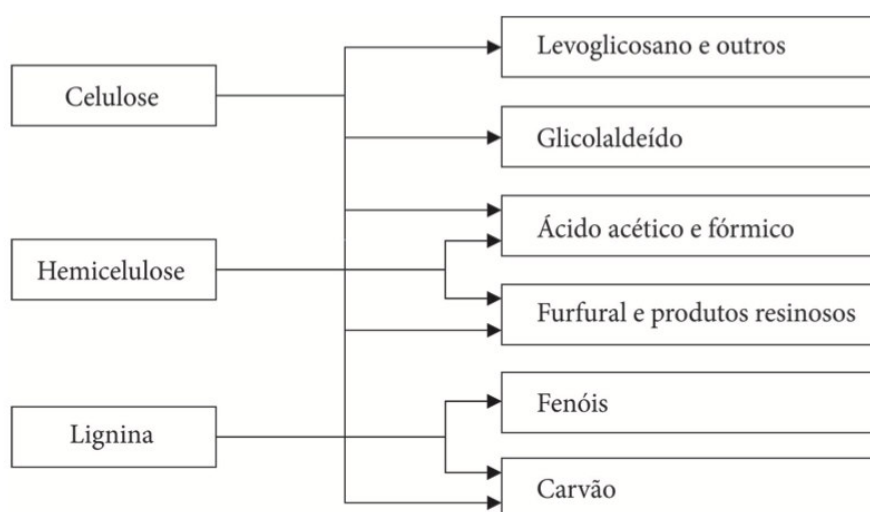


Figura 4 - Principais componentes da biomassa lignocelulósica e suas transformações mediante tratamento térmico.

Fonte: Diniz, 2005

3.2 O DODECIL SULFATO DE SÓDIO (SDS)

O dodecil sulfato de sódio (SDS) é um composto aniônico sintético que possui uma cadeia de hidrocarbonetos simples, como ilustra a Figura 5. Essa substância é bastante utilizada em indústrias de produtos de limpeza, bem como na produção de produtos como papel e polímeros (ARAÚJO, 2016).

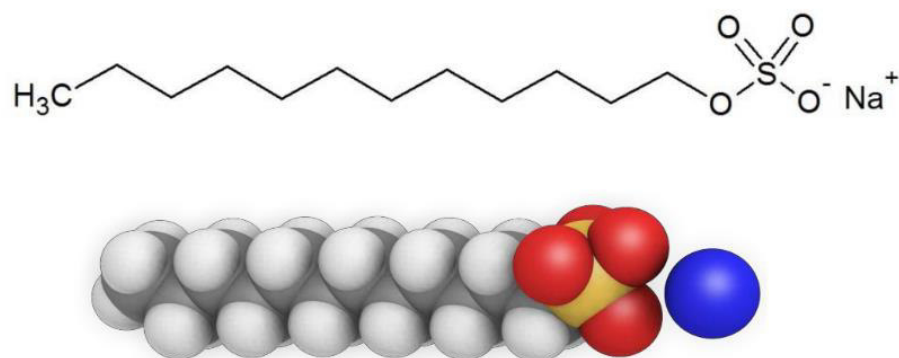


Figura 5 – Representação da estrutura molecular do dodecil sulfato de sódio

Fonte: Araújo (2016)

Esse composto integra um grupo denominado de “surfactantes” ou também “tensoativos”. Esses surfactantes são caracterizados por moléculas dotadas de características anfifílicas, ou seja, possuem na mesma molécula uma porção hidrofílica ou polar, denominada cabeça, e uma cadeia hidrofóbica ou apolar, a qual é referida como cauda (GOMES, NASCIMENTO & SILVA, 2016).

A presença de duas regiões distintas em uma mesma molécula é capaz de proporcionar uma grande capacidade de adsorção, seja na sua interface ar-água ou óleo-água, bem como na superfície de sólidos.

Devido as suas características, essas substâncias atuam como detergentes ou agentes emulsificantes, encontrando um amplo campo de atuação (PIRES, 2002). Nesse cenário, uma considerável quantidade de surfactantes é liberada no ambiente, causando, principalmente, poluição aquática. Esses tensoativos provocam espumas nos rios e na superfície das águas. Como uma tentativa de mitigar esses problemas ambientais, a adsorção surgiu como uma potencial opção, tendo em vista o seu baixo custo e alta eficiência.

3.3 CINÉTICA E EQUILÍBRIO NO PROCESSO DE ADSORÇÃO

A crescente contaminação química da água a partir de uma ampla gama de poluentes orgânicos e inorgânicos estimulou o desenvolvimento de tecnologias capazes de remover esses poluentes encontrados nos rejeitos. A partir desse cenário, a adsorção ganhou, nas últimas décadas, grande visibilidade como um processo de separação e purificação (NASCIMENTO et al., 2014). Esse processo apresenta um elevado potencial de aplicação industrial para a remoção ou separação de substâncias poluentes, visando a redução dos impactos ambientais causados por diversas indústrias (BARROS, 2017).

Dessa forma, a adsorção está relacionada ao enriquecimento de um ou mais componentes em uma região interfacial (FONTAN, BONOMO & COIMBRA, 2016). Essa operação de transferência de massa do tipo sólido-fluido explora a capacidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície determinadas substâncias existentes em soluções líquidas ou gasosas, o que permite separá-las dos demais componentes dessas misturas (SANTOS, 2017). Os componentes que se unem à superfície são chamados de adsorvatos, enquanto que a fase sólida que retém o adsorvato é chamada de adsorvente (RIBEIRO, 2016).

O grau de adsorção depende das condições termodinâmicas, da superfície do adsorvente e das interações entre adsorvente e adsorvato (CAMARA, 2014). Para que essa operação seja realizada de forma satisfatória, faz-se necessário que a substância a ser adsorvida apresente afinidade com o material adsorvente (BARROS, 2017). Além disso, uma vez que os componentes adsorvidos ficam concentrados sobre a superfície externa, quanto maior for esta superfície externa por unidade de massa sólida, mais favorável será a adsorção (NASCIMENTO et al., 2014). Tendo em vista que a capacidade adsorvativa por unidade de área é baixa, é importante utilizar adsorventes porosos, com grande área interna por unidade de volume (FONTAN, BONOMO & COIMBRA, 2016).

Por ser um fenômeno que ocorre quando as moléculas, ao se difundirem em uma fase fluida, são capturadas por forças atrativas de uma superfície sólida adjacente, faz-se necessário enfatizar que essa superfície apresenta descontinuidades na estrutura do sólido, disponibilizando energias residuais que não são contrabalanceadas pela vizinhança presente no corpo da estrutura. Essas forças residuais são o que se conhece por interações de Van der Waals (FONTAN, BONOMO & COIMBRA, 2016). Na maioria dos casos, o componente adsorvido é preso forte o suficiente para permitir remoção completa deste componente do fluido e uma pequena adsorção de outros componentes (BARROS, 2018).

Quando moléculas de uma fase fluida entram em contato com o sólido adsorvente, as forças de atração existentes entre o adsorvente e o adsorvato estimulam o acúmulo deste na superfície sólida (FONTAN, BONOMO & COIMBRA, 2016). A atração do sólido por certos tipos de moléculas é tão intensa que praticamente todas as moléculas incidentes podem ficar retidas até saturarem os sítios ativos ou até que as condições da superfície sofram alterações de modo a reduzir essas forças de atração (GOMIDE, 1988). A união entre o adsorvente e o adsorvato pode ser tão forte, a ponto de apresentar características de uma reação química.

Esse tipo de adsorção é denominado de quimissorção ou adsorção química e é irreversível, apresentando elevado interesse no que se refere à catálise heterogênea. Por outro lado, quando a união entre o adsorvato e o adsorvente é fraca, o processo é chamado de fisissorção ou adsorção física, podendo ser invertido com facilidade (RIBEIRO, 2016). A Tabela 2 expõe, de maneira resumida, as principais características relacionadas aos fenômenos de quimissorção e fisissorção, que serão melhor abordados posteriormente.

Tabela 2 - Principais características relacionadas aos fenômenos de quimissorção e fisissorção

Adsorção Física	Adsorção Química
Causada por forças eletrostáticas, como de <i>van der Walls</i>	Causada por compartilhamento de elétrons
Não há transferência de elétrons	Há transferência de elétrons
Calor de adsorção = 2~6 Kcal mol ⁻¹	Calor de adsorção = 10~200 Kcal mol ⁻¹
Fenômeno geral para qualquer espécie	Fenômeno específico e seletivo
A camada adsorvida pode ser removida por aplicação de vácuo à temperatura de adsorção	A camada adsorvida só é removida por aplicação de vácuo e aquecimento a temperatura acima a de adsorção
Formação de multicamada abaixo da temperatura crítica	Somente há formação de monocamadas
Acontece somente abaixo da temperatura crítica	Acontece também a altas temperaturas
Lenta ou rápida	Instantânea
Adsorvente quase não é afetado	Adsorvente altamente modificado na superfície

Fonte: Clark (2010)

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCAL DA PESQUISA

Os experimentos realizados no presente projeto foram executados no Laboratório de Materiais e Engenharia de Processos - LaMEP/LEPEQ e Laboratório de Design Cerâmico – LDC/DEDET localizados na Universidade Federal do Maranhão.

4.2 MATERIAL ADSORVENTE

O material adsorvente (Figura 6) utilizado no processo de equilíbrio na adsorção do SDS foi caroço de açaí. Esse material foi coletado na cidade de Morros, no estado do Maranhão, logo após o seu beneficiamento, garantindo que a matéria prima fosse de boa qualidade.



Figura 6 – Representação do caroço de açaí com fibras utilizado no processo de equilíbrio na adsorção do SDS

4.3 OBTENÇÃO DO CARVÃO VEGETAL DE AÇAÍ

Foi pesado 1 kg de amostra de caroço de açaí que foi coletado após o seu despolpamento. A primeira etapa da limpeza do caroço *in natura*, foi a catação das impurezas e sujidades, tendo em vista a impossibilidade de peneiração em função do tamanho das partículas. Em seguida foi efetuada a lavagem para que se retirasse o excesso de borra remanescente. Foram efetuadas quatro lavagens até que a água gerada estivesse límpida e obtivéssemos o caroço na forma desejada. Após este processo, o material foi levado a uma estufa para secagem em uma temperatura de 100°C com duração de 3 horas.

Em seguida, foi levado ao forno e submetido a uma calcinação, nas temperaturas 350°C e 400 °C durante 3 horas e com taxa de aquecimento de 10°C por minuto. Depois, esse carvão passou por uma maceração em um cadinho, e peneirado até obter a granulometria de 1,18mm e 2,36mm, sendo esse o material absorvente utilizados no estudo da cinética de equilíbrio.

4.4 PREPARAÇÃO DA SOLUÇÃO DE SDS

Para a realização dos ensaios, foi utilizada uma solução aquosa de dodecil sulfato de sódio (SDS) com concentração de 0,5ppm. O reagente utilizado foi da marca Merck Millipore, número de catálogo 817035, número CAS 151-21-3 e massa molar de 288,37 g/mol.

4.5 DETERMINAÇÃO DA CONDUTIVIDADE DA LAVAGEM DO CARVÃO

Para a realização do ensaio, foi pesado 5 gramas de carvão vegetal de açaí com 1,18 mm e 2,36mm granulometria, após essa etapa, as amostras foram colocadas em béqueres contendo 50 mL de água destilada. Em seguida tais amostras foram levadas para um agitador magnético, com agitação de 6rpm, e a cada 15 minutos era realizada as medidas de pH e condutividade elétrica. O experimento teve duração de 120 minutos. Um pH-metro digital WTW pH 330i, com exatidão de $\pm 0,003$ pH, acoplado a eletrodo combinado de membrana de vidro, foi utilizado para realização das medições.

4.6 DETERMINAÇÃO DO PONTO DE CARGA ZERO (PH_{PCZ})

O ponto de carga zero foi determinado a partir da metodologia apresentada por Crispim (2009), que empregou o método desenvolvido por Strelko e Malik (2002). O método consiste em misturar as amostras de carvão de vegetal de açaí a 20 mL de solução de NaCl 0,1 N e mantidas, sob agitação, durante 24 horas, acrescentando gradualmente NaOH 0,1 N, de tal modo que se obtenha uma sequência de valores de pH no intervalo de 2 a 11, com variação de uma unidade entre um valor e outro.

4.7 DETERMINAÇÃO DE CONCENTRAÇÃO MICELAR CRÍTICA E CURVA DE CALIBRAÇÃO

A determinação da concentração micelar crítica (CMC) foi realizada através da técnica desenvolvida por Rizzatti et al. (2009), onde foi utilizado o método de análise condutivimétrica. As medições foram realizadas em um Condutivímetro portátil cuja unidade de medição é $\mu\text{S/cm}$. A determinação da curva de calibração do SDS foi realizada através da técnica de

análise condutivimétrica, onde uma faixa de concentração de 0,5 a 5ppm foi definida como base das medidas de condutividade, onde foi avaliado o coeficiente de correlação da reta e o grau de ajuste da mesma.

4.8 DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE EQUILÍBRIO

Para o experimento de Cinética foi pesado 0,10 gramas de carvão vegetal de açai com 1,18mm e 2,36mm granulometria, após a pesagem essas amostras foram colocadas em béqueres contendo 50 mililitros de água destilada. Em seguida foi levado para um agitador magnético, na rotação de 6rpm, e a cada 5 minutos foi medido o pH e a condutividade. O experimento teve duração de 90 minutos.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE DO PREPARO DO CARVÃO DE CAROÇO DE AÇAÍ

Na etapa de calcinação, foram empregadas duas temperaturas, sendo 350°C e 400°C. A partir de análises posteriores realizadas em ambas as amostras, verificou-se que os carvões preparados em maior temperatura apresentaram mais falhas em sua estrutura, propiciando o aparecimento de pequenos sulcos em diversos caroços carbonizados, responsáveis por diminuiram sua resistência à compressão e tornar o material mais frágil.

Esta problemática dificulta a aplicação desse carvão no processo, primeiramente devido à formação de pó, causada pela compactação do leito e, secundamente, à redução da porosidade do leito, provocada pelo arraste do material particulado. A Figura 7 ilustra o carvão vegetal de açaí empregado no processo de adsorção do SDS.



Figura 7 – Carvão vegetal de açaí obtido a 350°C (esquerda) e 400°C (direita)

5.2 ANÁLISE DA CONDUTIVIDADE DURANTE A LAVAGEM DO CARVÃO VEGETAL DE AÇAÍ

A Análise condutimétrica exige um alto grau de pureza das substancias analisadas, pois a presença de pequenas quantidades de eletrólitos alheia à solução em estudo, poderá contribuir para a mudança significativa na condutividade, em virtude disso, realizou-se o tratamento da amostra através da lavagem. (GOMES, NASCIMENTO & SILVA,2016). Na Figura 8 e 9 são apresentadas o comportamento condutimétrico durante as lavagens do carvão para as duas granulometrias escolhidas.

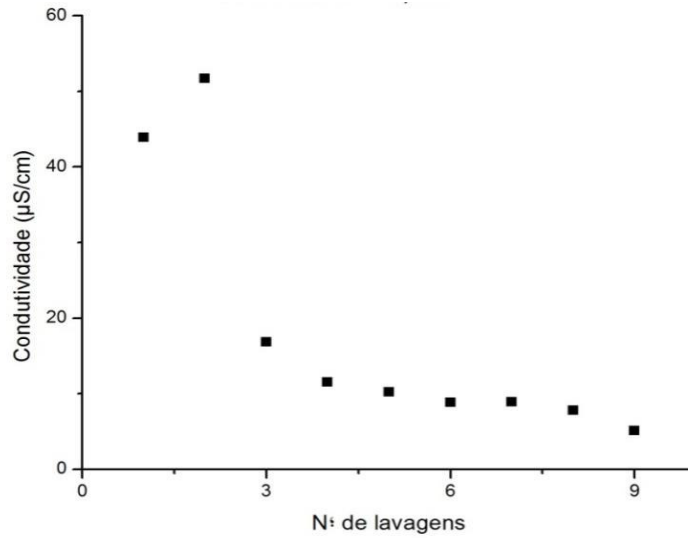


Figura 8 – Comportamento da condutividade em função do número de lavagens feitas em carvão vegetal de açaí com tamanho 1,18 mm.

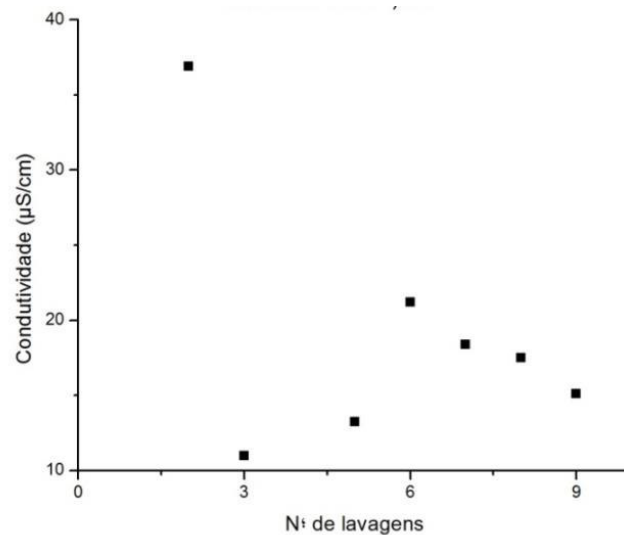


Figura 9 – Comportamento da condutividade em função do número de lavagens feitas em carvão vegetal de açaí com tamanho 2,36mm.

Ao que se pode observar da Figura 8, é que após 6 lavagens, a condutividade começa apresentar constância e que se prolongará depois de 9 lavagens. Quanto ao carvão de 2,36 mm notamos que ele não alcançou a constância, apresentando um comportamento inesperado para o experimento. A possível explicação estaria no tamanho dos poros, já que este é um tamanho maior de partícula de carvão, o que nos levaria a fazer mais lavagens para que fosse observado o comportamento esperado.

5.3 ANÁLISE DO PONTO DE CARGA ZERO (PH_{PCZ})

A avaliação do ponto de carga zero de um determinado composto é necessário quando se quer estudar os fenômenos de superfície que envolvem a adsorção, pois fornece conhecimentos vitais sobre o comportamento de cargas existentes nas superfícies dos adsorventes em função do pH do meio, bem como o grau de ionização das espécies do adsorvato (BARBOSA, 2014).

O parâmetro pode nos fornecer a condição do adsorbato, devido ao fato que alterações no pH do meio podem afetar positivamente o fenômeno da adsorção, além de ser um parâmetro de comparação para experimentos feitos com o adsorbato. A figura 10 mostra o gráfico de ΔpH , que é dada pela diferença entre o $\text{pH}_{\text{inicial}}$ e depois da adição de CCA, em função do $\text{pH}_{\text{inicial}}$.

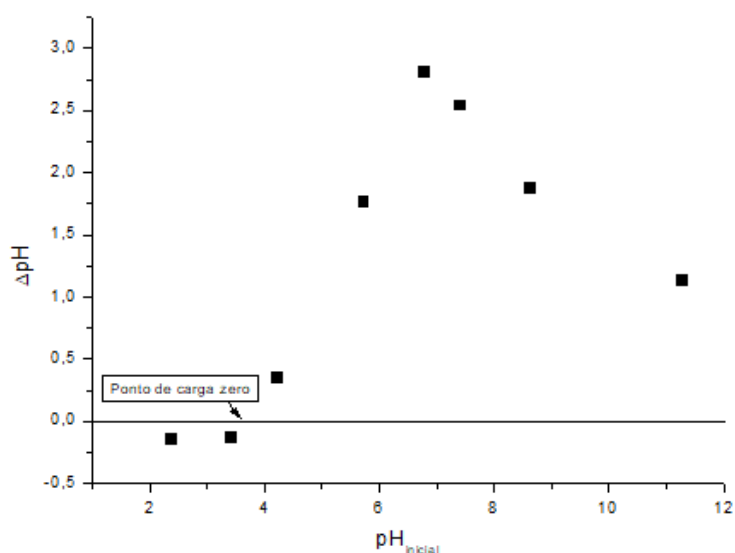


Figura 10 – Análise do ponto de carga zero de um determinado composto

A partir do ponto de carga zero obtido ($\text{pH} = 3,60$), temos que acontece uma crescente curva ascendente, que atinge um limite em pH em 7. Abaixo do pH de ponto de carga zero (pH_{pcz}), a superfície encontra-se protonada, favorecendo a adsorção de compostos com carga negativa, e acima deste valor, estará desprotonado, o que promove a atração por compostos catiônicos (BARBOSA, 2014).

Desta forma, é verificado que a adsorção do dodecil sulfato sódico, um tensoativos aniônico, se dê em pH abaixo do pH_{pcz} , pois nessa faixa de pH tem-se que as interações entre o tensoativos e o CCA podem estar sendo favorecidas pela contribuição dos grupamentos

protonados do meio. As Figuras 11 e 12 apresentam o comportamento do pH ao longo do tempo de contato no experimento.

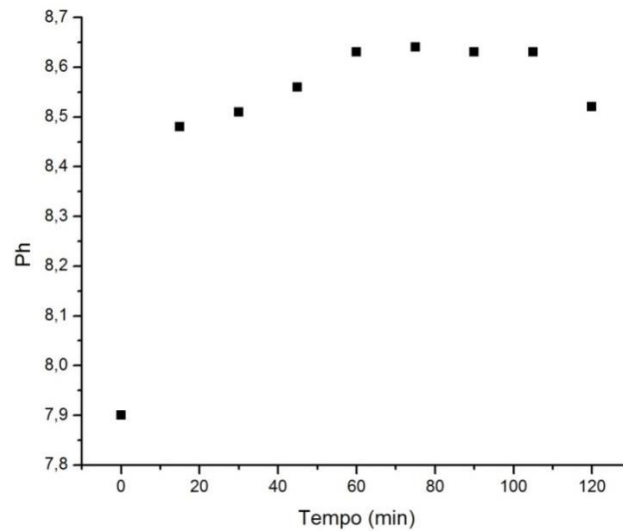


Figura 11 – Variação do pH em função do tempo em carvão vegetal de açaí com tamanho 1,18 mm.

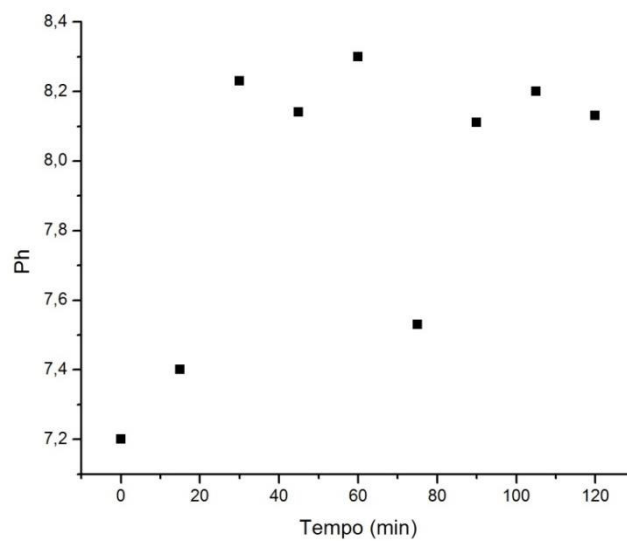


Figura 12 – Variação do pH em função do tempo em carvão vegetal de açaí com tamanho 2,36mm.

Ao analisarmos ambos os gráficos contidos nas figuras, observamos que nas duas granulometrias temos o pH da solução ficando básica. Isto se deve ao fato do carvão ter um caráter ácido e ao longo do tempo com as trocas de água, há liberação dos ácidos e o meio começa ter caráter básico.

5.4 ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO MICELAR CRÍTICA E CURVA DE CALIBRAÇÃO

Na análise condutivimétrica, é relatado que a concentração micelar crítica, um ponto onde ocorre formação das micelas (agregados de monômeros dos surfactantes) acontece no ponto de encontro da extrapolação das duas retas, conforme mencionado por Rizzatti et al. (2009), sendo estimado em 3 mmol/L, conforme apresentado na Figura 13.

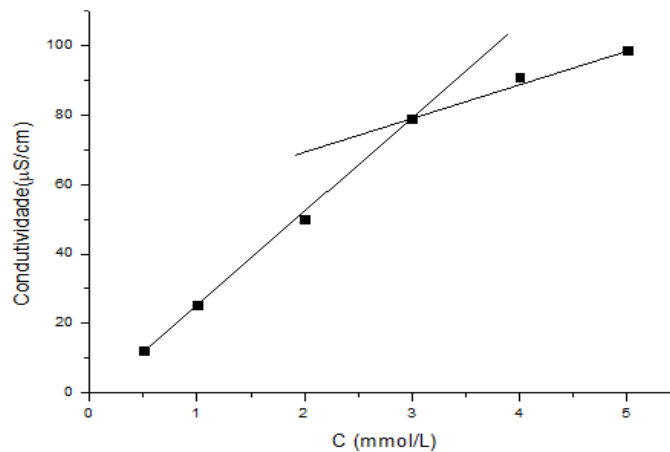


Figura 13 –Avaliação da Concentração Micelar Crítica a partir da variação de condutividade

Segundo Rizzatti et al. (2009), que em baixas concentrações, os monômeros de surfactantes encontram-se em equilíbrio em solução e com o aumento da concentração, a adsorção aumenta formando monocamada de surfactante, saturando a superfície da solução.

A construção da curva de calibração é requisitada para a avaliação da concentração de tensoativo presente nas amostras. Através da análise condutivimétrica, seguindo metodologia de Gomes, Nascimento & Silva (2016), foi realizada a construção da curva de calibração, apresentada na Figura 14.

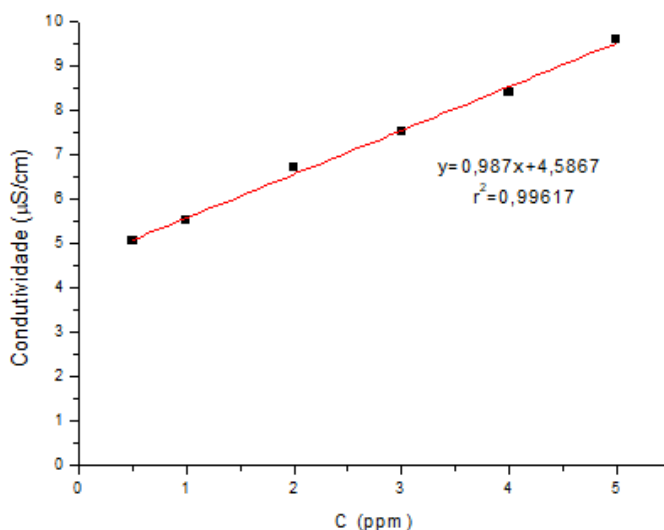


Figura 14 – Curva de calibração do Dodecil Benzeno Sulfonato de Sódio (SDS).

Como mencionado por Vicente (2014), para concentrações baixas do tensoativo, é possível obter uma linearidade com elevada faixa de coeficiente de correlação, com valores próximos a 1.

5.5 ANÁLISE DA CINÉTICA DE EQUILÍBRIO

Nas Figuras 15 e 16 são apresentados os gráficos resultantes do experimento de cinética de equilíbrio. Observa-se a ambos os gráficos uma diminuição da condutividade em consequência da redução do número de molécula do tensoativos livres dispersos na solução, evidenciando a adsorção pelo carvão ativado.

Partindo da análise de Vicente (2004) para a curva de calibração do SDS e avaliando para os resultados obtidos, a baixa concentração usada no experimento 0,5ppm/L, proporcionou uma linearidade esperada para a concentração.

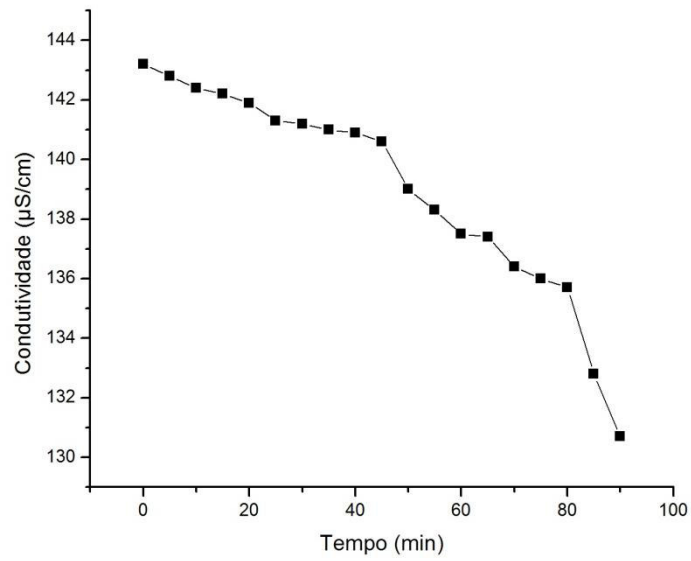


Figura 15 – Cinética de equilíbrio na adsorção do surfactante SDS em carvão vegetal de açaí com tamanho 1,18m.

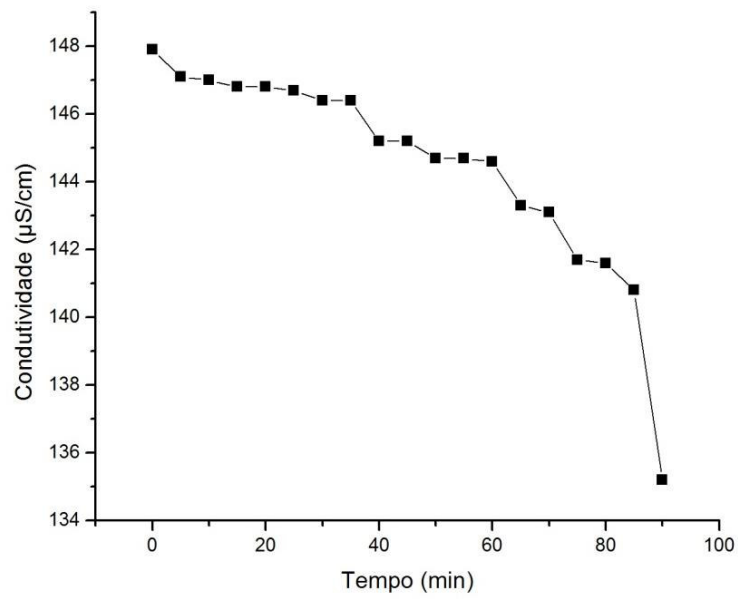


Figura 16 – Cinética de equilíbrio na adsorção do surfactante SDS em carvão vegetal de açaí com tamanho de 2,36mm.

6 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos foi possível observar que o carvão preparado a 400°C apresentou mais falhas em sua estrutura, propiciando o aparecimento de pequenos sulcos em diversos caroços, sendo responsáveis por diminuir a sua resistência à compressão, tornando o material mais frágil. Também foi possível observar um tempo de equilíbrio relativamente baixo (cerca de 30 minutos) sendo essa característica importante na busca por adsorventes alternativos. Além disso é verificado que para a avaliação do processo de adsorção em um leito fixo operacional, é necessário antes estudar o comportamento do adsorvente a ser usado. Com as condições testadas de concentração de surfactante, através da análise do pH e condutividade em consideração as avaliações dos valores de pH_{pcz} e tempo de equilíbrio, compreende-se que é possível o uso do carvão vegetal de açaí na remoção do surfactante SDS.

Contudo, como sugestões para trabalho futuro, pode ser possível o uso do carvão vegetal de açaí ativado em diferentes tratamentos, como exemplo a aplicação do ácido fosfórico. Seguindo o desenvolvimento das ideias construídas no trabalho, a realização de experimentos práticos em leito fixo com diferentes tamanhos de carvão vegetal de açaí com objetivo de remoção do Dodecil Sulfato de Sódio (SDS) em água de lavagem em indústrias automotiva.

REFERÊNCIAS

ANJANEYULU, Y.; CHARY N. S.; RAJ, D. S. S. D. **Decolourization of industrial effluents – available methods and emerging technologies – A Review**. Environmental Science and Bio/Technology, v. 4, p. 245–273, 2005.

ARAÚJO, K. C. F. **Estudo de diferentes mecanismos para produção de persulfato utilizando ânodo de diamante dopado com boro**. 2016. 70 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

BARBOSA, C. S. et al. Remoção de compostos fenólicos de soluções aquosas utilizando carvão ativado preparado a partir do aguapé (*Eichhorniacrassipes*): estudo cinético e de equilíbrio termodinâmico. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 447- 453, 2014.

BARROS, T. V. **Estudo do potencial de adsorção de azul de metileno em escamas de peixe *Cynoscionacoupa* (pescada amarela) em sistemas batelada e contínuo**. 2017. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

BEZERRA, J. M. M. **Síntese de Tensoativo para a Extração de Metal Pesado**. Rio Grande do Norte: Universidade Federal Rural Do Semiárido; 2012.

BORBA, C. E. **Modelagem da remoção de metais pesados em coluna de adsorção de leito fixo**. [S.l.]: Universidade Estadual de Campinas, 2006.

BRASIL Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília, 2010

CAMARA, A. S. **Adsorção de cromo (VI) em leito fixo utilizando partículas de areia recobertas com quitosana**. 2014. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química Tecnológica e Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2014.

CORDEIRO, T. R.; PAULA, C. C. A.; SOUSA, D. R.; AMORIM, M. S. Aproveitamento do caroço de açaí como fonte de energia térmica para as olarias do município de Bragança-Pará. In: VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 2017, Campo Grande. **Anais eletrônicos**. Bragança: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, 2017. Disponível em <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/XI-050.pdf>> Acesso 19 de maio de 2021.

COSTA, L. S. **Utilização do caroço de açaí como leito filtrante no tratamento de água de abastecimento e residuária**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

CLARK, H. L. M. **Remoção de fenilalanina por adsorvente produzido a partir da torta prensada de grãos defeituosos de café**. Belo Horizonte: UFMG, 2010.

CRISPIM, S. C. L. **Remoção de Cálcio (II) em solução aquosa por meio de carvões ativadas submetidos a tratamentos superficiais**. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado– Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2009.

DINIZ, J. **Conversão térmica de casca de arroz à baixa temperatura: produção de bioóleo e resíduo sílico-carbonoso adsorvente**. 2005. 185f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

EICHHORN, P.; RODRIGUES, S. V.; BAUMANN, W.; KNEPPER, T. P. Incomplete degradation of linear alkyl benzene sulfonate surfactants in Brazilian surface waters and pursuit of their polar metabolites in drinking waters. **The Science of The Total Environment**, v. 284, p. 123-134. 2002.

FAUZIAH, S.; DRAMAN, S.; MOHD, N. **Removal of paracetamol from aqueous solution by dried cellulose and activated carbon**. 2015. v. 10

FONTAN, R. C. I.; BONOMO, R. C. F.; COIMBRA, J. S. R. Adsorção e troca iônica. **Operações Unitárias na Indústria de Alimentos**. 1ed. Rio de Janeiro: LTC, v. 2, p. 453-482, 2016.

FU, Y.; VIRARAGHEVAN, T. Fungal decolorization of dye wastewater: A review. **Bioresource Technology**, v. 79, p. 251-262, 2001.

GANTUSS, C. A. R. **Caracterização física e química de locais de ocorrência do açaizeiro (*Euterpe oleracea*, Mart) no Estado do Amapá e sua relação com o rendimento e qualidade do fruto**. 2006. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

GARCÍA-MATEOS, F. J. et al. Removal of paracetamol on biomass-derived activated carbon: modeling the fixed bed breakthrough curves using batch adsorption experiments. **Chemical engineering journal**, 2015. v. 279, p. 18–30.

GEANKOPLIS, C. J. Transport processes and unit operations. 3. ed. [S.l.]: Prentice-Hall International, 1993.

GOMES, M. S. S. O.; NASCIMENTO, J. R.; SILVA, M. G. O. Mesocarpo de babaçu (*Orbinyasp*) como adsorvente do dodecil benzeno sulfonato de sódio (SDBS). **Holos**, v. 7, p. 51-61, 2016.

GOMIDE, R. **Operações unitárias: Operações de transferência de massa**. 1 ed. São Paulo: Dag Gráfica e Editora Ltda., v. 4, p. 311-315, 1988.

GUARATINI, C. C. I.; ZANONI, M.V. B. Corantes Têxteis. *Química Nova*, vol. 23, 2000.

GUELLI U. DE SOUZA, S. M. A.; LUZ, A. D. da; MELLO, J. M. M; SOUZA, A. A. U. Removal of Toxic Contaminants from Petrochemical Effluents using Adsorption and Biodegradation Processes. In: University of Kassel. (Org.). **Chapter 26 - Sustainable water management in the tropics and subtropics and Case Studies in Brazil**. 1 ed. Kassel, 2011, Vol. 1, p. 1-20.

GULNAZ, O.; KAYA, A.; DINCER, S. The reuse of dried activated sludge for adsorption of reactive dye. **Journal of Hazardous Materials**, B134, p. 190–196, 2006.

JUNQUEIRA, A. A.; BASSO, V. M.; SOUZA, N. D. Evolução da produção de açaí no período de 2004 a 2015. In: I SEMANA DE APERFEIÇOAMENTO EM ENGENHARIA FLORESTAL, 2017, Curitiba. **Anais eletrônicos**. Curitiba: Departamento de Engenharia Florestal, 2017. Disponível em <<https://www.even3.com.br/anais/iseaflor/52062-evolucao-da-producao-de-acai-no-periodo-de-2004-a-2015>> Acesso em 20 de maio de 2021-05-20

KUNZ, A.; PERALTA-ZAMORA, P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Novas Tendências no Tratamento de Efluentes Têxteis. **Química Nova**, v.25, n.1, p.78-82, 2002.

LORA, E. E. S. et al. Gaseificação e pirólise para a conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis. **Biocombustíveis**, v. 1, p. 411-498, 2012.

MEIER, D.; FAIX, O. State of the art of applied fast pyrolysis of lignocellulosic materials—A review. **Bioresource technology**, v. 68, n. 1, p. 71-77, 1999.

MESQUITA, F. **Fibra de açaí pode ser alternativa barata na produção de MDF**. 2014. Disponível em <<https://www.acritica.com/channels/governo/news/fibra-de-acai-pode-ser-alternativa-barata-na-producao-de-mdf>>. Acesso em 20 de maio de 2021.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. Q.; MELO, G. S. C. **Adsorção: Aspectos Teóricos e Aplicações Ambientais**. 1 ed. Fortaleza: Imprensa Universitária, 256 p, 2014.

NGUYEN, N. T. **Adsorption of phosphorus from waste water on to biochar: Batch and fixed-bed column studies**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, Helsinki, 2015.

PANNIRSELVAM, P. V. et al. Desenvolvimento de projeto para produção de fibra de coco com inovação de tecnologia limpa e geração de energia. **Revista Analytica**, n. 15, p. 56-61, 2005.

PARADELA, F. M. R. **Estudo da pirólise de misturas de resíduos de plásticos, pneus e biomassa**. 2012. 322f. Tese (Doutorado em Engenharia Química e Bioquímica) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

PEREIRA, E.; RODRIGUES, V. **Carvão do caroço de açaí (*Euterpe oleracea*) ativado quimicamente com hidróxido de sódio (NaOH) e sua eficiência no tratamento de água para o consumo**. Relatório do Projeto de Pesquisa apresentado à Comissão Avaliadora do Prêmio Jovem Cientista, 2013.

PIRES, P. A. R. **Síntese e propriedades de soluções de tensoativos catiônicos derivados de (3-Dimetilaminopropil) amidas de ácidos carboxílicos**. 2002. Tese (Doutorado em Química) – Instituto de Química da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, 2002.

RANGEL, R. N. **Modelagem, caracterização e simulação da pirólise do caroço de açaí**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energia) – Faculdade do Gama, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

REIS, B. O.; SILVA, I. T.; SILVA, I. M. O.; ROCHA, B. R. P. **Produção de briquetes energéticos a partir de caroços de açaí**. Trabalho AGRENER 2002 - 4o Encontro de Energia no Meio Rural, outubro de 2002, Campinas-SP.CD

BRITO, Denise. Açaí da Mata Atlântica faz nascer negócio sustentável e lucrativo. Revista Globo Rural. Alagoas, ago. 2018. Seção Sustentabilidade. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Sustentabilidade/noticia/2018/08/acai-da-mata-atlantica-faz-nascer-negocio-sustentavel-e-lucrativo.html>>. Acesso em: 20 mai. 2021.

RIBEIRO, T. J. B. S. **Capacidade de adsorção do azul de metileno utilizando-se carvão de babaçu como bioadsorvente**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em

Engenharia Química) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.

RIVERA-UTRILLA, J. et al. Pharmaceuticals as emerging contaminants and their removal from water. A review. **Chemosphere**, 2013. v. 93, n. 7, p. 1268–1287. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.07.059>>.

RIZZATTI, Ivanise M.; ZANETTE, Dilson R.; MELLO, Lígia C. Determinação potenciométrica da concentração micelar crítica de surfactantes: uma nova aplicação metodológica no ensino de Química. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 32, n.2, p. 518-521, 2009.

RODRIGUES, R.B.; LICHTENTHÄLER, R.; ZIMMERMANN, B.F.; PAPAGIANNOPOULOS, M.; FABRICIUS, H.; MARX, F. Total oxidant scavenging capacity of *Euterpe oleracea* Mart. (açai) seeds and identification of their polyphenolic compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.54, n.12, p.4162-4167, 2006.

ROGEZ, H. **Açai: preparo, composição e melhoramento da conservação**. Belém: EDFPA, 2000. 313p

SANTOS, D. N. **Investigação do potencial adsorvente do biocarvão impregnado produzido a partir da pirólise lenta do caroço de açai**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

STRELKO, V.; MALIK, D. J. Characterization and metals orptive properties of oxidized active carbon, J. **Colloid Interface Sci.**, v. 250, n. 1, p. 213-220, 2002.

TAFFAREL, S. R.; RUBIO, J. Adsorption of Sodium Dodecyl Benzene Sulfonate from Aqueous Solution Using a Modified Natural Zeolite with CTAB. **Minerals Engineering**, v. 23, p. 771-779, 2010.

TEIXEIRA, L.B. de OLIVEIRA, R.F.; FURLAN Jr.; J.; GERMANO, V.L.C. **Processo de compostagem a partir de lixo orgânico urbano e caroço de açai**. Belém: Embrapa Amazônia Ocidental, 2004.

VICENTE, J. **Determinação de surfactantes aniônicos em efluentes de postos revendedores de combustíveis da região da Grande Florianópolis**. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química) – Departamento de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.