

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO RIO GRANDE DO NORTE

MARCELO SANTOS SANTIAGO

**SÍNTESE DE CARBONO ATIVADO A PARTIR DO USO DE RESÍDUO GERADO
EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS**

NATAL-RN

2017

MARCELO SANTOS SANTIAGO

**SÍNTESE DE CARBONO ATIVADO A PARTIR DO USO DE RESÍDUO GERADO
EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais (PPgUSRN), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), em cumprimento às exigências legais como requisito do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: D.r José Dantas Neto

NATAL-RN

2017

Santiago, Marcelo Santos.
S235s Síntese de carbono ativado a partir do uso de resíduo gerado em estação de tratamento de esgotos domésticos / Marcelo Santos Santiago. – 2017.
48 f : il. color.

Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Natal, 2017.
Orientador(a): Prof. D.r José Dantas Neto.

1. Danos ambientais. 2. Carbono ativado. 3. Azul de metileno. 4. Lodo – Esgoto. I. Dantas Neto, José. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. IV. Título.

CDU 504.5

Catálogo na Publicação elaborada pela Seção de Processamento Técnico da
Biblioteca Setorial Walfredo Brasil (BSWB) do IFRN.

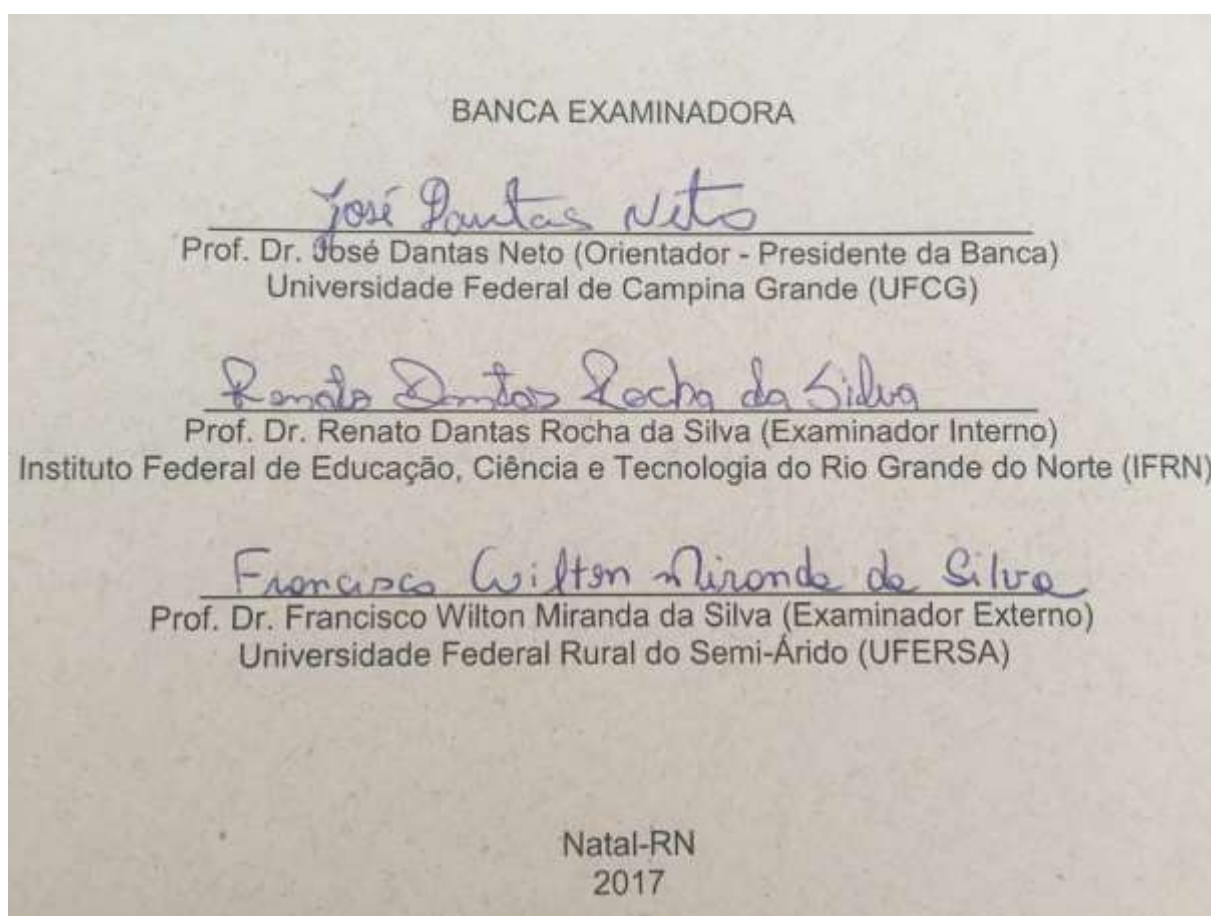
MARCELO SANTOS SANTIAGO

SÍNTESE DE CARBONO ATIVADO A PARTIR DO USO DE RESÍDUO GERADO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais (PPgUSRN), do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), em cumprimento às exigências legais como requisito do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: D.r José Dantas Neto

Dissertação apresentada e aprovada em 21/08/2017 pela seguinte Banca Examinadora:



Dedico esse trabalho aos meus pais Maria de Jesus e João de Noronha, que esteve e continua sempre presente em todos os momentos de minha vida. Sem seus incentivos, dedicação e apoio seria impossível seguir adiante. Esta pequena vitória é apenas a primeira de muitas que iremos conquistar juntos.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) e, em específico, ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais (PPGUSRN) e a todos os seus professores e funcionários pelo apoio e oportunidade de aprendizado.

Ao meu orientador Professor Doutor José Dantas Neto primeiramente pela gentileza em me acolher como seu orientando e pelo respeito ao meu projeto de pesquisa. Em segundo lugar, pela humildade e empenho como conduziu a orientação desse estudo de dissertação, sempre com paciência e excelentes considerações que engrandeceram o trabalho.

A todos os colegas de curso pelo companheirismo, contribuições e bons momentos vividos dentro e fora da sala de aula; em especial, à Sylbenia Alves, Luara Musse, Keville Pereira, Vinícius Meressiev, Fausto Pereira.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, *campus* Ipanguaçu, pela ajuda nas pesquisas.

À minha família, Maria de Jesus, João de Noronha, Marcos Antônio, Márcio Santiago, aos meus sobrinhos Herbert Matheus e Lívia Santiago e à minha cunhada Alessandra Santiago, aos meus primos Francisco e Rodrigo pelo apoio fundamental em todos os desafios enfrentados.

Ao meu amigo Diogo Bezerra pela paciência, companhia, orientações e por sempre estar do meu lado apoiando as minhas decisões e me mostrando que sou capaz de alcançar os meus objetivos. E pôr fim às minhas cachorras Athena e Nike pelo divertimento do dia a dia.

“Aos jovens que aqui chegarem, confio Atena aos seus cuidados”.

CDZ

RESUMO

A poluição ambiental é um fenômeno que surgiu antes da expansão e crescimento da população mundial. Atualmente, existe uma grande preocupação com a poluição dos recursos naturais. Esta contaminação tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas devido ao desenvolvimento não ter sido acompanhado por regulamentos que permitam a prevenção e controle da contaminação e por uma avaliação de impactos ambientais. Ainda ocorrem falhas nos aterros e lixões, principalmente nos lixões, mesmo havendo fiscalização. O lodo que é formado nas estações de tratamento sempre é despejado nos aterros ou lixões, e isso acarreta a produção de chorume e gases tóxicos, pois o material tem muita matéria orgânica. Nesse contexto, este estudo foi realizado com o objetivo de transformar os resíduos gerados na Estação de tratamento de Esgotos – ETE em carbono ativado e avaliar o seu potencial. Para a avaliação do potencial do material, foi utilizado o composto aromático azul de metileno. A metodologia aplicada neste estudo incluiu a síntese do carbono ativado utilizando resíduo da ETE e a caracterização do material pelo método do ponto de carga zero e determinação dos grupos ácidos. Na síntese o precursor passou por carbonização em um forno mufla. Foram utilizados dois materiais, carbono ativado 1 e 2. Após a ativação o material passou pelos testes de cinética e eficiência. Para o teste de eficiência, foi introduzido um carbono comercial (WV 1050) como comparativo com os outros dois materiais. Como resultado da caracterização, o potencial de carga zero foi de: 6,23 e 7,38, respectivamente, para os carbonos ativados 1 e para o carbono ativado 2. Para os grupos ácidos, foram testados os grupos carboxílicos, lactônicos e fenólicos para os dois materiais, e foram obtidos os resultados de 19,0%, 15,8%, 65,0% para o carbono ativado 1 e 64,8%, 35,1% e 0% para o carbono ativado 2 respectivamente. No teste cinético, o material teve um excelente comportamento, pois ambos tiveram a adsorção inicial em 20 minutos para o CA 1 e 5 minutos para o CA 2. E o material se mostrou muito eficiente, o CA 2 teve uma eficiência de 100% no pH 7, enquanto o CA 1 sua eficiência foi de 51,2% no pH 10 e o WV 1050 com 98,8% em pH 10. Esse dado mostrou que o CA 2 foi muito eficaz à frente dos dois utilizados, com isso mostrando que o lodo pode ser um ótimo precursor para ser transformado em carbono ativado.

Palavras-chave: adsorção, lodo, azul de metileno

ABSTRACT

Environmental pollution is a phenomenon that arose before the expansion and growth of the world population. Currently, there is a great concern about the pollution of natural resources. This contamination has increased considerably in the last decades because the development has not been accompanied by regulations that allow the prevention and control of the contamination and by an evaluation of environmental impacts. There are still gaps in landfills and dumps, mainly in the dumps, even though there is inspection. The sludge that is formed in the treatment plants is always dumped in landfills or dumps, and this leads to the production of leachate and toxic gases, since the material has a lot of organic matter. In this context, this study was carried out with the objective of transforming the waste generated at the Sewage Treatment Plant - ETE into activated carbon and assess its potential. For the evaluation of the potential of the material, the methylene blue aromatic compound was used. The methodology applied in this study included the synthesis of the activated carbon using ETE residue and the characterization of the material by the zero point method and determination of the acid groups. In the synthesis the precursor was carbonized in a muffle furnace. Two materials, activated carbon 1 and 2 were used. After activation, the material passed through kinetic and efficiency tests. For the efficiency test, a commercial carbon (WV 1050) was introduced as comparative with the other two materials. As a result of the characterization, the zero charge potential was: 6.23 and 7.38, respectively, for the activated carbons 1 and for the activated carbon 2. For the acid groups, the carboxylic, lactonic and phenolic groups were tested for And the results were 19.0%, 15.8%, 65.0% for activated carbon 1 and 64.8%, 35.1% and 0% for activated carbon 2, respectively. In the kinetic test, the material had an excellent behavior, as both had the initial adsorption in 20 minutes for CA 1 and 5 minutes for CA 2. And the material was very efficient, CA 2 had an efficiency of 100% At pH 7, while CA 1 its efficiency was 51.2% at pH 10 and WV 1050 at 98.8% at pH 10. This data showed that CA 2 was very effective ahead of the two used, with Showing that sludge may be a good precursor for being converted to activated carbon.

Keywords: adsorption, sludge, Methylene blue

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fórmula estrutural do corante catiônico azul de metileno	17
Figura 2 – Estrutura do grão de carbono ativado	21
Figura 3 – Mapa de localização da ETE do Baldo	25
Figura 4 – Lodo da ETE <i>in natura</i>	26
Figura 5 – Lodo da ETE calcinado	27
Figura 6 – Ensaio de adsorção utilizando azul de metileno	30
Figura 7 – Espectro fotômetro UV-vis Evolution 60S	30
Figura 8 – Titulação dos grupos ácidos pelo método de Boehm	36
Gráfico 1 – pH_{pcz} do carbono ativado 1	33
Figura 9. – Soluções de azul de metileno antes (a) e após (b) o processo de adsorção	39
Gráfico 2 – pH_{pcz} do carbono ativado 2	34
Gráfico 3 – Curva de calibração do azul de metileno	37
Gráfico 4 – Cinética de adsorção do azul de metileno com carbono ativado 1	38
Gráfico 5 – Cinética de adsorção do azul de metileno com carbono ativado 2	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diferenças entre a adsorção física e adsorção química	20
Tabela 2 – pH_{pcz} do carbono ativado 1	32
Tabela 3 – pH_{pcz} do carbono ativado 2	33
Tabela 4 – Grupos ácidos da superfície do carbono ativado 1 determinados por titulação de Boehm	35
Tabela 5 – Grupos ácidos da superfície do carbono ativado 2 determinados por titulação de Boehm	35
Tabela 6 – Eficiência do adsorvente	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SBA 15 – Santa Barbara Amorphous 15

MCM – Mobil Crystalline Materials

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

KJ/mol – Quilojoule por Mol

IFRN – Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Rio Grande do Norte

pH – Potencial de Hidrogênio

PCZ – Potencial de Carga Zero

CA – Carbono Ativado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	AZUL DE METILENO	17
2.2	LODO DE ESGOTO	18
2.3	PROCESSOS DE ADSORÇÃO	18
2.4	CARBONO ATIVADO	21
3	OBJETIVO GERAL	23
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
4	MATERIAIS E METODOS	24
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	24
4.2	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA DO LODO	24
4.3	SÍNTESE DO RESÍDUO DA ETE	25
4.4	CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL	27
4.4.1	pH_{pcz}	27
4.4.2	Determinação dos grupos ácidos	28
4.5	ENSAIOS DE ADSORÇÃO	29
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1	SÍNTESE DO PRECURSOR	32
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL	32
5.3	MECANISMO DE ADSORÇÃO	37
5.4	EFICIÊNCIA DO ADSORVENTE	39
6	PRODUTO TECNOLÓGICO	42
7	CONCLUSÕES	43
8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	44

REFERÊNCIAS	45
ANEXO A – Comprovante de submissão do artigo	48

1 INTRODUÇÃO

A poluição ambiental é um fenômeno que surgiu antes da expansão e do crescimento da população mundial.

Atualmente, existe uma grande preocupação com a poluição dos recursos naturais gerados por produtos industriais. Essa contaminação tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas devido ao fato de o desenvolvimento não ter sido acompanhado por regulamentos que permitam a prevenção e o controle da ação de contaminação e por uma avaliação de impactos ambientais (JALIL, 2010; AGUIAR, 2012).

Existem diferentes tipos de poluição, contudo os mais prejudiciais são aqueles que afetam a base de recursos naturais para a saúde: ar, solo e água. A poluição é responsável por fenômenos que agravam o meio ambiente. Na maioria dos casos, esses problemas são gerados pelos poluentes derivados das atividades humanas.

Além da poluição do solo e do ar, a problemática em ecossistemas aquáticos é talvez o pior tipo de poluição, devido a uma escassez, generalizada mundialmente, de água potável. A contaminação da água é gerada por vários fatores, todos eles relacionados com a má utilização como atividades industriais de mineração, até mesmo com o armazenamento indevido nos lixões ou aterros, acabam poluindo a água com uma variedade de substâncias de alta toxicidade que limitam a sua utilização posterior.

Vários processos são usados no controle ambiental, como por exemplo a adsorção, em que baixas concentrações de poluentes podem ser separadas e reaproveitadas. Há um grande interesse em melhorar o desempenho dos processos de desenvolvimento de materiais que têm características físico-químicas apropriadas, menor custo, a exemplo do carbono ativado e materiais de sílica mesoporosos (Santa Barbara Amorphous-15 – SBA 15 ou Mobil Crystalline Materials – MCM), argilas modificadas ou combinações entre suas estruturas. Entre os materiais mais utilizados para o controle da poluição ambiental, estão as argilas naturais e o carbono ativado, que, somados à sua abundância e baixo custo, têm uma química de superfície adequada às suas propriedades físico-químicas (com sítios ativos de diferentes características) e carga permanente (BEZERRA *et al.*, 2011; BEZERRA *et al.*, 2014).

Portanto, a urgência por novas políticas públicas e tecnologias alternativas de tratamento de bacias hidrográficas é de grande importância. Dentre as principais

tecnologias estudadas para o tratamento dos recursos hídricos, destaca-se a adsorção em carbono ativado como alternativa para este problema.

O carbono ativado é um adsorvente bastante estudado e utilizado comercialmente. Sua elevada área superficial e seu grande volume de micro e de mesoporos conferem a esse adsorvente uma ampla utilização em diversos processos industriais. Sua preparação consiste na carbonização de uma matéria-prima rica em carbono e posterior ativação física (temperatura e pressão) e/ou química para elevar sua porosidade e, conseqüentemente, sua área superficial.

O carbono ativado utilizado nesse projeto foi sintetizado utilizando-se resíduos de esgoto, obtido do lodo residual da Estação de Tratamento de Esgotos - ETE do Baldo em Natal - RN.

A transformação de rejeitos rico em carbono (lodo de esgoto) em material é uma forma economicamente viável, pois são materiais de fácil obtenção e que podem ser reutilizados. O carbono ativado é um material que pode ser produzido a partir de qualquer material orgânico, e seu rendimento é bem expressivo.

Este material, por ser de fácil obtenção e facilmente reutilizado, o faz ser um recurso mais barato para o mercado; além disso, nesse estudo, foi testada a eficiência do material sintetizado em comparação com material comercial com o intuito de mostrar que o lodo é um ótimo material a ser sintetizado e transformado em carbono ativado.

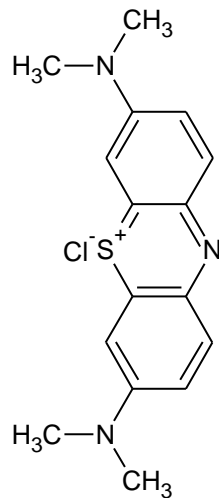
2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão definidos os principais assuntos desta pesquisa, que são: materiais poluentes (corante azul de metileno), lodo de esgoto, fundamentos de adsorção e carbono ativado.

2.1 AZUL DE METILENO

O azul de metileno é um composto aromático heterocíclico, sólido verde-escuro, solúvel em água e que produz solução azul, inodora, com fórmula molecular $C_{16}H_{18}ClN_3S$, massa molar 319,85 g/mol. Em sua fórmula estrutural, conta com 3 estruturas cíclicas condensadas com dois heteroátomos (nitrogênio e enxofre), conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1 – Fórmula estrutural do corante catiônico azul de metileno



Fonte: Autoria Própria (2017)

O azul de metileno é um corante orgânico catiônico muito utilizado como traçador de águas contaminadas (POTGIETER, 1991; LONGHINOTTI *et al*, 1996), desinfetante e antisséptico e empregado ainda na verificação do nível de bactérias no leite, nas análises de ácido ascórbico, de detergentes, de percloratos e de peróxidos, e também usado como fotossensibilizador (LONGHINOTTI *et al*, 1996).

2.2 LODO DE ESGOTO

O lodo refere-se ao produto final gerado na ETE, o qual contém todos os materiais sólidos não removidos durante os processos de tratamento de esgoto, e é gerado em volumes muito maiores em comparação aos demais resíduos (WERTHER, 1999; MILTON *et al.* 2001).

O lodo de esgoto é um resíduo sólido, pastoso e de natureza predominantemente orgânica; pode conter um número indeterminado de componentes orgânicos, inorgânicos e substâncias tóxicas. Seus principais constituintes são proteínas, óleos, ureia, celulose, sílica, nitrogênio, ácido fosfórico, óxido de ferro, óxido de cálcio, alumina, óxido de magnésio e potássio. Metais pesados e uma grande variedade de minerais também estão presentes (SMITH, 2009).

Atualmente as alternativas para destinação final do lodo são: disposição em aterro, uso agrícola, lançamento em rios ou oceanos e tratamento por incineração. Além dessas, existem inúmeras outras soluções para a disposição final desse resíduo: utilização na recuperação de locais contaminados, horticultura, paisagismo, silvicultura, processos industriais (como na indústria de cimentos, cerâmicas e agregado a pavimentações) e processos térmicos, como a incineração com recuperação energética, pirólise e gaseificação (LEBLANC *et al.* 2008).

2.3 MECANISMOS DE ADSORÇÃO

A adsorção é um fenômeno de concentração espontânea de moléculas ou íons (adsorbato) presentes em uma fase fluida (líquido ou gás) que ocorre na superfície de um material sólido, aqui chamado de adsorvente, em contato com o fluido aqui chamado de adsorbato (ROUQUEROL *et al.*, 1999). O processo transcorre de forma espontânea do ponto de vista termodinâmico, pois quando o fluido se encontra adsorvido, suas moléculas possuem menor energia interna do que quando se encontram no fluido livre. No momento da transição (da fase fluida para a fase adsorvida), nota-se a liberação de energia na forma de calor (fenômeno exotérmico).

Logo a adsorção é a ligação de partículas a uma superfície; a substância que é adsorvida é o adsorbato sendo a fase líquida, e o material que adsorve é o adsorvente ou substrato; no entanto esta é a partícula ou substância nanoporosa, sendo o adsorvente a fase sólida.

De acordo com a intensidade e a natureza das forças entre adsorvente e adsorbato, pode-se classificar este fenômeno como adsorção física (fisissorção) ou química (quimissorção). Na fisissorção, a interação na interface adsorvente/adsorbato é fraca e está associada a interações do tipo das forças de van der Waals. Nesta interação os valores de adsorção são da ordem de magnitude de condensação, ou seja, - fisissorção < 35 kJ/mol. Este tipo de adsorção apresenta valores significativos em baixas temperaturas, podendo haver formação de multicamadas adsorvidas na superfície do sólido. Por apresentar fracas interações, este processo tem caráter reversível com aumento da temperatura (RUTHVEN, 1984; BASTOS-NETO *et al.*, 2007). Na quimissorção, há efetiva troca de densidade eletrônica na interface adsorvente/adsorbato e o processo pode ser discutido em termos de formação de complexos. Seus valores de variação de entalpia são superiores a 35 kJ/mol. Para a quimissorção, há formação de uma monocamada, sendo significativa em grandes faixas de temperaturas, contudo pode ser um processo lento e irreversível (RUTHVEN, 1984; ARAÚJO, 2005).

Processos de adsorção são amplamente usados em processos de descontaminação, em que as moléculas poluentes podem ser presas e separadas a partir do meio a ser tratado. Na adsorção as forças de interação são geradas pelo desequilíbrio intermolecular entre a superfície sólida e o fluido, permitindo atração ou repulsão de moléculas em contato (BEZERRA *et al.*, 2011; BEZERRA *et al.*, 2014).

Entre os diferentes fatores que afetam a adsorção em fluidos líquidos, estão os inerentes ao adsorvente: propriedades texturais (área de superfície específica, a distribuição de tamanho dos poros, o volume total dos poros e o diâmetro médio dos poros), propriedades físico-químicas (carga de superfície, concentração e tipo de sítios ativos) e composição química, assim como suas características químicas e físicas (tamanho e polaridade da molécula, a solubilidade, a composição química e concentração das mesmas). No entanto há certo número de fatores relacionados apenas com as características da solução, como pH, temperatura e força iônica, que são igualmente importantes e que devem ser considerados ao se estudar o processo (COONEY, 1998; LEYVA RAMOS, 2007; JALIL, 2010).

A adsorção em solução líquida é geralmente avaliada por “adsorção aparente” do soluto na interface sólido-líquido. Isso é realizado por meio da medição da diminuição de sua concentração quando colocada em contato com o adsorvente por um tempo suficiente para atingir o equilíbrio e a uma determinada temperatura.

Quando a quantidade adsorvida (expressa em massa de soluto adsorvida por unidade de massa adsorvente) é representada graficamente contra a concentração do soluto na solução, uma vez que tenha atingido o equilíbrio a uma temperatura constante, definimos como uma isotérmica de adsorção (GILES *et al.*, 1974; AGUIAR, 2012).

Uma vez obtidas as isotermas de adsorção experimentalmente, existem diferentes modelos de adsorção que permitem uma representação matemática, entre os quais, os modelos Langmuir e Freundlich são mais amplamente utilizados em sistemas sólido-líquido (LEYVA 2007; LIMOUSIN *et al.*, 2007; JALIL, 2010; BEZERRA *et al.*, 2011; BEZERRA *et al.*, 2014).

Sendo assim existindo dois tipos de adsorção a física (fisissorção) e a química a (quimissorção), sendo amplamente relatada na tabela abaixo.

Tabela 1 Diferenças entre a adsorção física e a adsorção química	
ADSORÇÃO FÍSICA	ADSORÇÃO QUÍMICA
Baixo calor de adsorção	Calor de adsorção na ordem de entalpias de reação
Não específica	Altamente específica
Mono ou multicamadas	Somente monocamada
As moléculas adsorvidas não sofrem dissociação.	Pode ocorrer dissociação das moléculas.
Ocorre em baixas temperaturas.	Ocorre em altas temperaturas.
Não precisa de ativação, é rápida e reversível.	Precisa de ativação e pode ser irreversível.
Não ocorre transferência de elétrons, mas pode ocorrer polarização do adsorbato.	Há transferência de elétrons, levando à formação de ligação química.

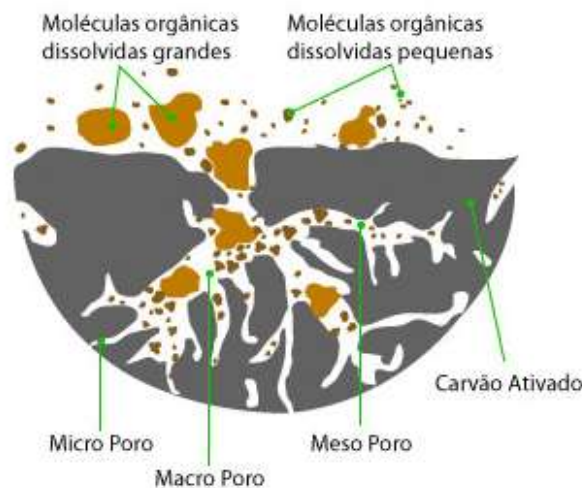
Fonte: (Ruthven, 1984).

2.4 CARBONO ATIVADO

O carbono ativado é um adsorvente bastante utilizado no tratamento de efluentes. Tem uma elevada área superficial porosa, com a grande vantagem da possibilidade de se regenerar, ou seja, é possível dessorver as substâncias adsorvidas e adquirir novamente seu poder de adsorção. Além de remover substâncias que contêm gosto, odor e matéria orgânica dissolvida, remove também cor (característica física, por causa da existência de matéria dissolvida), fenóis, nutrientes (fosfatos, nitratos), sólidos em suspensão, matéria orgânica não biodegradável, dentre outros. Os processos de remoção de gosto e odor são utilizados no tratamento de água potável (CASAS, 2004).

O carbono ativado é um adsorvente bastante estudado e utilizado comercialmente. A grande variedade de características texturais confere a este adsorvente uma ampla utilização em diversos processos industriais. Sua preparação consiste na carbonização de uma matéria-prima rica em carbono e posterior ativação física (temperatura e pressão) e/ou química para elevar sua porosidade, criando micro e mesoporos (conforme figura 2) e, conseqüentemente, aumentando sua área superficial (DAVINI, 2002).

Figura 2 Estrutura do grão de carbono ativado.



Fonte: Adaptado de Davini (2002)

Possui grande afinidade química por substâncias orgânicas, sendo bastante empregado na descontaminação de água para o consumo humano. Isso ocorre,

porque sua estrutura possui elevada composição de carbono (BASTOS-NETO *et al.*, 2007).

Outro atrativo importante deste adsorvente é o seu caráter hidrofóbico, pois a umidade do ar ou de sistemas aquosos poderia adsorver-se facilmente reduzindo a capacidade de adsorção da molécula-alvo, causando, inclusive, a oxidação da superfície de carbono.

3 OBJETIVO GERAL

Sintetizar material adsorvente, carbono ativado, utilizando-se como fonte os resíduos da ETE do Baldo em Natal.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar o material adsorvente sintetizado;
2. Estudar o efeito do pH;
3. Realizar estudos cinéticos de adsorção no corante azul de metileno para a determinação de parâmetros utilizados nos ensaios de eficiências em sistemas aquosos.

4 MATERIAIS E METODOS

As atividades executadas neste projeto adotaram a seguinte metodologia:

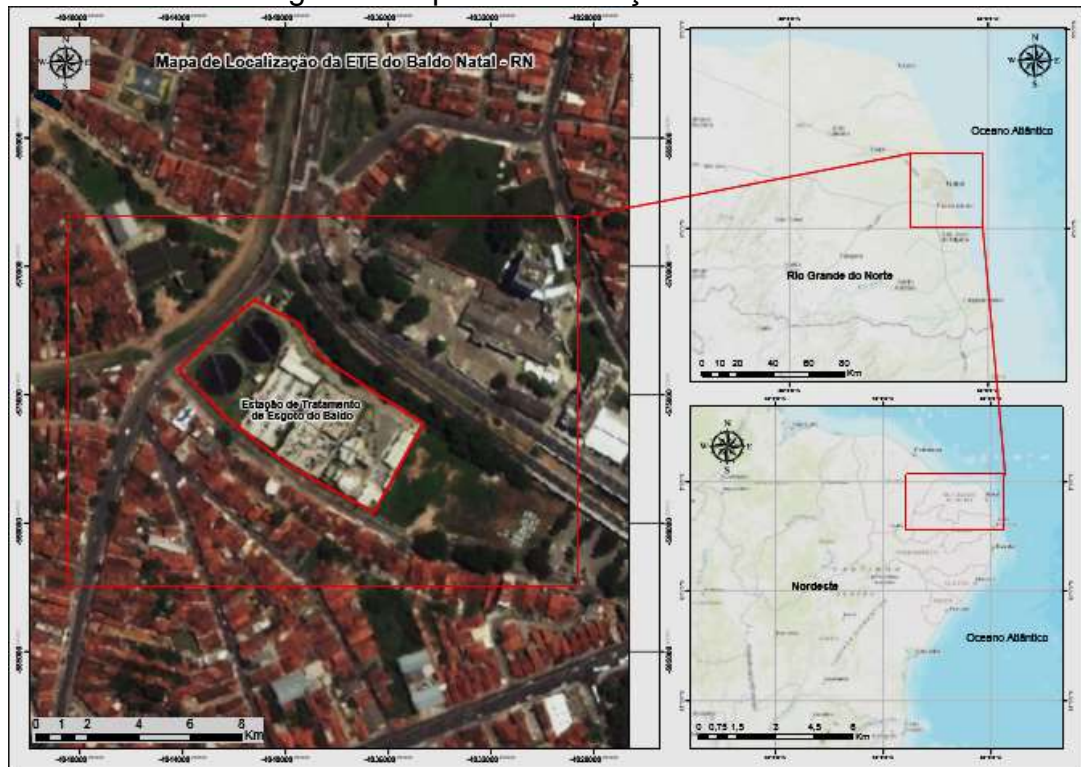
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O estudo caracteriza-se como pesquisa de campo pelo fato de ter como procedimentos técnicos a coleta e análise de dados oriundos de um espaço físico, identificado como ETE do Baldo em Natal – RN. A natureza da pesquisa é quantitativa, uma vez que, os dados coletados, foram analisados a partir de quantificações, fórmulas matemáticas e tratamento estatístico. Quanto ao método científico, o trabalho foi embasado no método Dedutivo. O raciocínio dedutivo tem como objetivo explicar o conteúdo das premissas, partindo do geral para o particular.

4.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA DO LODO

O resíduo da ETE foi coletado na estação de esgoto doméstico do Baldo em Natal – RN, conforme o mapa de localização (Figura 3). E a parte experimental foi realizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN, *campus* Ipangaçu.

Figura 3 Mapa de localização da ETE do Baldo



Fonte: Autoria Própria (2017)

4.3 SÍNTESE DO RESÍDUO DA ETE

Utilizamos o resíduo da estação de tratamento de esgoto (figura 4) para a síntese de carbono ativado. O precursor foi obtido do lodo residual na etapa de secagem da estação de tratamento.

Figura 4 Lodo da ETE *in natura*

Fonte: Autoria Própria (2017)

O lodo adquirido tem um pH de 4,5. Foram pesados em dois béqueres 25 g do precursor (lodo). Um dos lodos foi realizado só a etapa de calcinação e utilizado o material químico já impregnando no mesmo como agente ativador. Para a ativação do segundo lodo, foram utilizados 100 ml de cloreto de zinco (ZnCl_2) 0,4 mol/l no intuito de obter a ativação do material, em seguida foram aquecidos a 100°C e mantidos em agitação constante para evaporar a solução de ZnCl_2 . Após a evaporação da solução, o precursor foi colocado em um forno mufla, sob uma taxa de aquecimento de $1^\circ\text{C}/\text{min}$ até uma temperatura de 500°C durante 150 minutos para ser calcinado (figura 4). Passado este período, as amostras foram retiradas e lavadas com água destilada até se obter um pH próximo de 7. Em seguida o carbono ativado foi levado à estufa a uma temperatura de 100°C para a secagem (BEZERRA *et al.*, 2011).

Figura 5 Lodo da ETE calcinado



Fonte: Autoria Própria (2017)

4.4 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

O material utilizado foi carbono ativado sintético para adsorção de misturas aquosas da substância de azul de metileno. Cada amostra foi caracterizada por métodos de pH_{pcz} e determinação dos grupos ácidos.

4.4.1 pH_{pcz}

Para a determinação do potencial de carga zero, foi utilizado o método de Mular e Robert (adaptado de ROCHA, 2006), o qual consistiu em pesar 1 g de carbono ativado, utilizando diferentes béqueres; foram adicionados 25 ml de solução de KNO_3 em uma concentração de 0,01 mol/L; em seguida a solução ficou em repouso por 24 horas. Após o repouso, o pH foi ajustado, utilizando-se HNO_3 5% v/v ou KOH 5% v/v; em seguida manteve-se em repouso por mais 24 horas. Após as 24 horas, anotou-se o valor do pH ajustado (sendo esse o pH inicial) e logo após adicionou-se 0,23 g de KNO_3 , agitando com um bastão de vidro até completar a solubilização do sal; foi deixado em repouso por mais 24 horas e ao final foi anotado o pH obtido (sendo esse o pH final). Os dados obtidos foram representados em um gráfico $\text{pH}_{\text{inicial}}$ versus $\text{pH}_{\text{inicial}}$

– pH_{final} (ΔpH); o ponto onde a curva intercepta o eixo X é o pH no qual o carvão apresentou a carga zero (BARBOSA *et al.*, 2014).

4.4.2 Determinação dos grupos ácidos

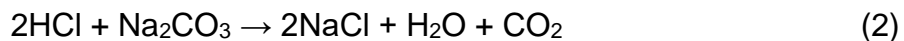
O método para determinação dos grupos ácidos consistiu na titulação Boehm, que é usada para identificar os grupos funcionais oxigenados da superfície do carbono ativado.

Inicialmente foi colocado 0,5 g do carbono ativado em três béqueres separadamente em 25 ml de solução de hidróxido de sódio ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$), de carbonato de sódio ($0,05 \text{ mol L}^{-1}$) e de bicarbonato de sódio ($0,05 \text{ mol L}^{-1}$). Os frascos foram fechados e mantidos em agitação à temperatura ambiente durante 24 horas. Em seguida, cada solução foi filtrada, e o excesso de base foi titulado com HCL ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$). O número de grupos ácidos foi calculado sob o pressuposto de que o NaOH reagiu com os grupos carboxílicos, lactônicos e fenólicos. Na_2CO_3 reage com os grupos carboxílicos e lactônicos, e NaHCO_3 reage apenas com os grupos carboxílicos (FAN *et al.*, 2011; FIERRO *et al.*, 2008; BARBOSA *et al.*, 2014).

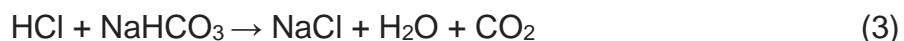
Pelo método de Boehm, o hidróxido de sódio (NaOH) reagiu com os grupos carboxílicos, lactônicos e fenólicos. O excesso de NaOH (que não reagiu com os grupos citados) é titulado com ácido clorídrico (HCl) segundo a reação 1.



Já a solução de carbonato de sódio (Na_2CO_3) reage com os grupos carboxílicos e lactônicos. O excesso de Na_2CO_3 (que não reagiu com os grupos) foi titulado com ácido clorídrico (HCl) segundo a equação 2.



A solução de bicarbonato de sódio (NaHCO_3) reage com o grupo carboxílico. O excesso de NaHCO_3 (que não reagiu com o grupo) foi titulado com ácido clorídrico (HCl) segundo a reação 3.



Os grupos carboxílicos são compostos de grupos hidroxilos ligados a um grupo carbonilo. Eles têm forma estrutural RCOOH , têm caráter ácido, liberam H^+ , são uma

das funções orgânicas mais oxigenadas. Os ácidos carboxílicos são oxiácidos orgânicos caracterizados pela presença do grupo carboxílico e possuem o grupo carbonila ligado a um grupo hidroxila (OH). Entre os principais compostos da função dos ácidos carboxílicos utilizados no cotidiano, estão o ácido metanoico, mais conhecido como ácido fórmico, e o ácido etanoico ou ácido acético (SOUZA 2017).

O grupo lactônico, também conhecido por lactonas sesquiterpênicas, compõe uma subclasse de compostos orgânicos biologicamente ativos pertencentes à classe dos sesquiterpenoides, contendo 15 átomos de carbono e um anel de lactona fundido. Geralmente o anel lactônico possui 5 membros e uma ligação dupla conjugada ao grupo carbonila, compreendendo, portanto, uma γ -lactona α , β -insaturada com dupla exo ou endocíclica. Esta classe de substâncias é encontrada em diversas famílias de plantas, especialmente nas *Compositae* ou *Asteraceae*, sendo considerada seu principal marcador taxonômico (MARTÍNEZ, 2002).

Os grupos fenólicos são uma classe de compostos químicos que consiste em um grupo hidroxilo ligado diretamente a um grupo hidrocarboneto aromático. A mais simples é a classe de fenol, que também é chamado ácido carbólico. Os compostos fenólicos são classificados como fenóis simples ou monofenóis, tendo apenas um grupo fenólico, ou bi, tri e oligo, com dois, três ou vários grupos fenólicos, respectivamente. Os fenóis naturais mais estudados são os flavonoides, que incluem milhares de compostos, entre eles os flavonóis, flavonas, flavan-3-ol (catequinas), flavanonas, antocianidinas e isoflavonas (ANGELO *et al.*, 2007).

4.5 ENSAIOS DE ADSORÇÃO

Para o processo de cinética de adsorção, preparou-se uma solução de 100 ml de azul de metileno com concentração de 0,01 g/l, após feito isso, foi preparado 0,01 g de carbono e foram adicionados 50 ml da solução, que permaneceu em agitação constante em um banho finito a 25 °C, sendo que a cada período de tempo era retirada uma alíquota e medida a absorbância em um espectro fotômetro UV-vis Evolution 60S com um comprimento de onda de 620nm (SANTIAGO *et al.*, 2015).

Figura 6 Ensaio de adsorção utilizando azul de metileno



Fonte: Autoria Própria (2017)

Figura 7 Espectro fotômetro UV-vis Evolution 60S



Fonte: Autoria Própria (2017)

Também foi analisada a eficiência do material em diferentes pHs (3, 5, 7 e 10) com o carbono ativado com os agentes químicos já presente no lodo e o ativado por $ZnCl_2$ e também o carbono comercial WV 1050, esse último carbono foi utilizado como comparativo para os demais carbonos usados na capacidade de adsorção. Para calcular a eficiência, foi empregada a equação 1.

$$Eficiência (\%) = \frac{100 \times (C_0 - C_{eq})}{C_0} \quad (1)$$

Onde:

C_0 é a concentração inicial das soluções;

C_{eq} é a concentração final das amostras em um tempo reacional qualquer.

A cinética do processo foi obtida através da velocidade do tempo em que o carbono adsorve a solução de azul de metileno, é o tempo necessário para que o adsorbato (azul de metileno) penetre nos poros do adsorvente (carbono). O processo de cinética foi realizado em duplicata para melhor fundamentar os resultados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 SÍNTESE DO PRECURSOR

O precursor (lodo de esgoto) adquirido na estação de tratamento do Baldo em Natal passou por ativação química para abertura dos poros. O mesmo foi ativado por cloreto de zinco (ZnCl_2) 0,4 mol/l. Foram pesados 25 g do lodo para ativação; ao final do processo de ativação, foi obtida uma massa de 9,12 g de carbono ativado. O material sintetizado teve um rendimento de 36,48% da massa total e uma perda de 63,52%.

Mesmo com uma perda alta, o material acaba sendo bem aproveitado, pois o destino final do lodo seria o aterro sanitário e, com a quantidade de material orgânico presente, o material acaba prejudicando a meia vida do aterro, além de produzir gases provocadores do efeito estufa. Então o material é um ótimo precursor para um carbono ativado, em vez de ser jogado em aterros.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

As tabelas e os gráficos abaixo mostram os resultados de caracterização para o pH da superfície do carbono não ativado e do carbono ativado via potencial de carga zero (pH_{pcz}). Segundo Barbosa *et al.* (2014), a caracterização via potencial de carga zero fornece uma importante contribuição no estudo da adsorção, pois é uma informação muito importante sobre o comportamento das cargas na superfície do carbono ativado em função do pH do meio, bem como do grau de ionização das espécies do adsorbato.

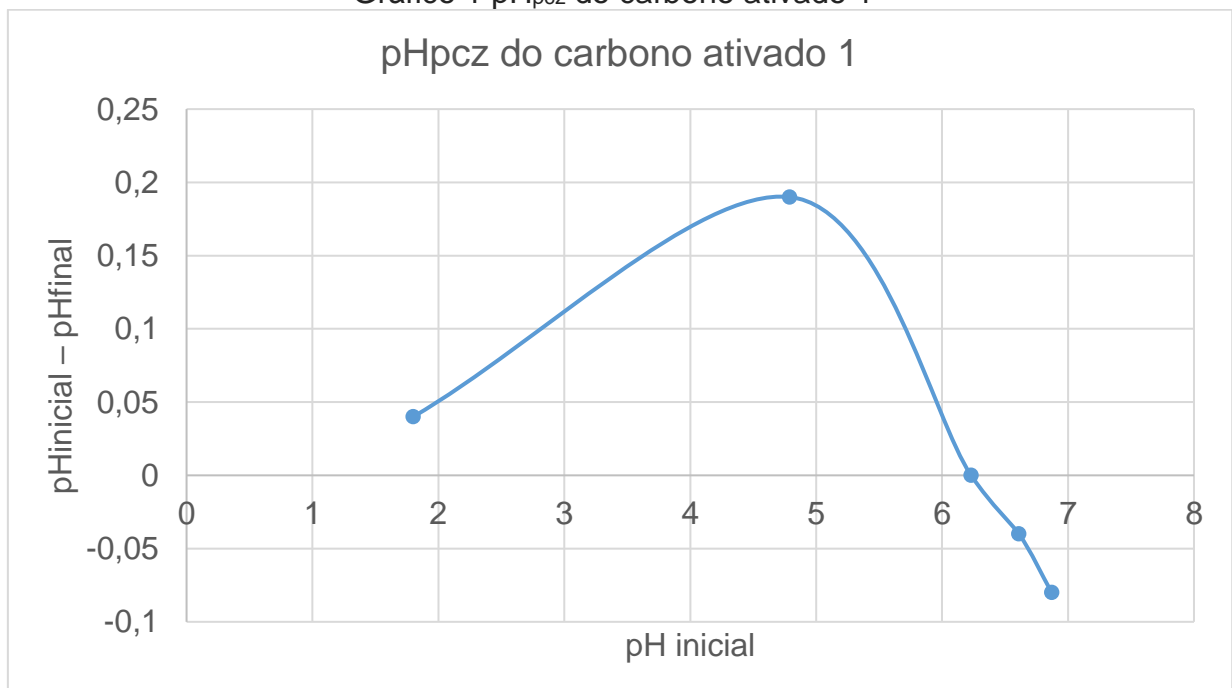
Tabela 2 pH_{pcz} do carbono ativado 1

pH Inicial	pH Final	pH_{inicial} – pH_{final}
1,80	1,76	0,04
4,79	4,60	0,19
6,23	6,23	0

6,40	6,36	0,04
6,61	6,65	-0,04
6,87	6,95	-0,08
8,87	8,51	0,36

Fonte: Autoria Própria (2017)

Gráfico 1 pH_{pcz} do carbono ativado 1



Fonte: Autoria Própria (2017)

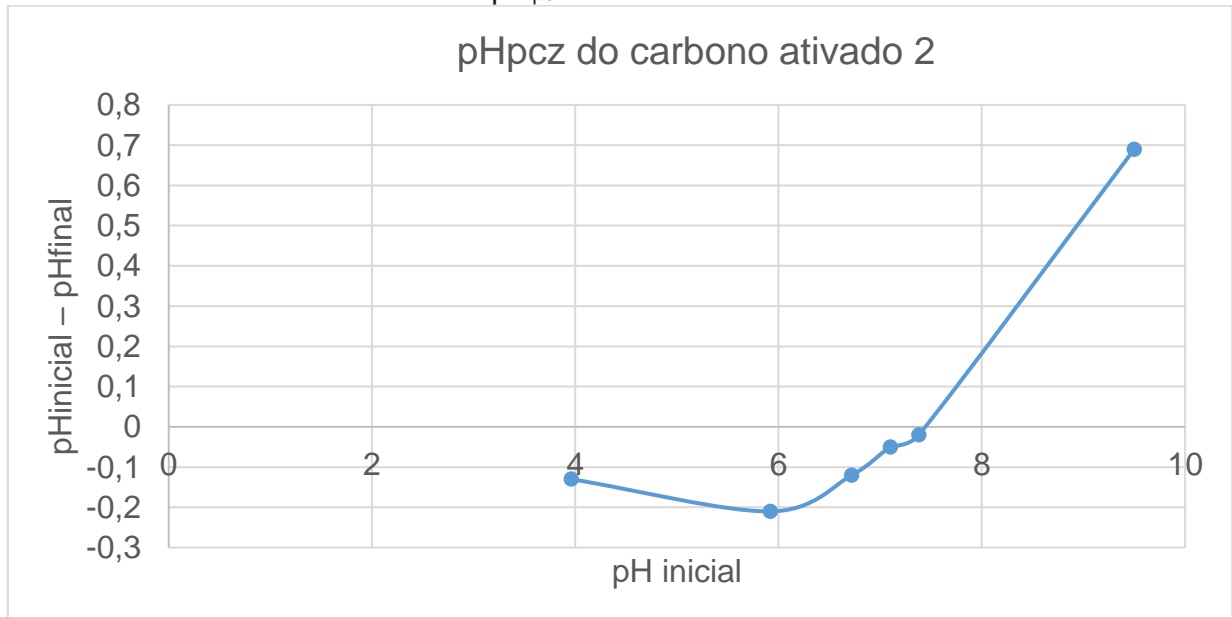
Tabela 3 pH_{pcz} do carbono ativado 2

pH Inicial	pH Final	pH inicial - pH final
3,96	4,09	-0,13
5,92	6,13	-0,21
6,72	6,84	-0,12
6,95	7,10	-0,15
7,10	7,15	-0,05

7,38	7,40	-0,02
9,50	8,81	0,69

Fonte: Autoria Própria (2017)

Gráfico 2 pH_{pcz} do carbono ativado 2



Fonte: Autoria Própria (2017)

De acordo com os resultados obtidos, tem-se que o potencial de carga zero é de: 6,23 e 7,38 para os carbonos ativados 1 e para o carbono ativado 2, respectivamente. Dessa forma observam-se as diferenças de valores para os respectivos carbonos, mostrando que, quando o mesmo passa por ativação, seu potencial de carga zero se eleva. Com esse resultado de 6,23 para o carbono ativado 1, conclui-se que este dado assegura uma ampla faixa de pH variando desde o pH 1,80 até o respectivo valor no qual este carbono apresenta carga zero. No caso do carbono ativado 2, verifica-se que seu resultado de 7,38 também assegura uma ampla faixa de pH variando desde o pH 3,96 até o valor que apresenta a carga zero.

As tabelas 4 e 5 apresentam os resultados da parte experimental do efeito da superfície do carbono sobre os resultados do método de Boehm para as amostras de carbono estudadas. Os resultados são mostrados de acordo com a média aritmética das amostras em duplicatas e eles estão apresentados em milimol dos grupos carboxílicos, lactônicos e fenólicos para cada grama de carbono (mmol g^{-1}).

Tabela 4 Grupos ácidos da superfície do carbono ativado 1 determinados por titulação de Boehm

Grupos superficiais ácidos	Concentração	
	mmol g ⁻¹	%
Carboxílicos	0,12	19,0
Lactônicos	0,10	15,9
Fenólicos	0,41	65,0

Fonte: Autoria Própria (2017)

Tabela 5 Grupos ácidos da superfície do carbono ativado 2 determinados por titulação de Boehm

Grupos superficiais ácidos	Concentração	
	mmol g ⁻¹	%
Carboxílicos	0,35	64,8
Lactônicos	0,19	35,1
Fenólicos	0,0	0,0

Fonte: Autoria Própria (2017)

Figura 8 Titulação dos grupos ácidos pelo método de Boehm

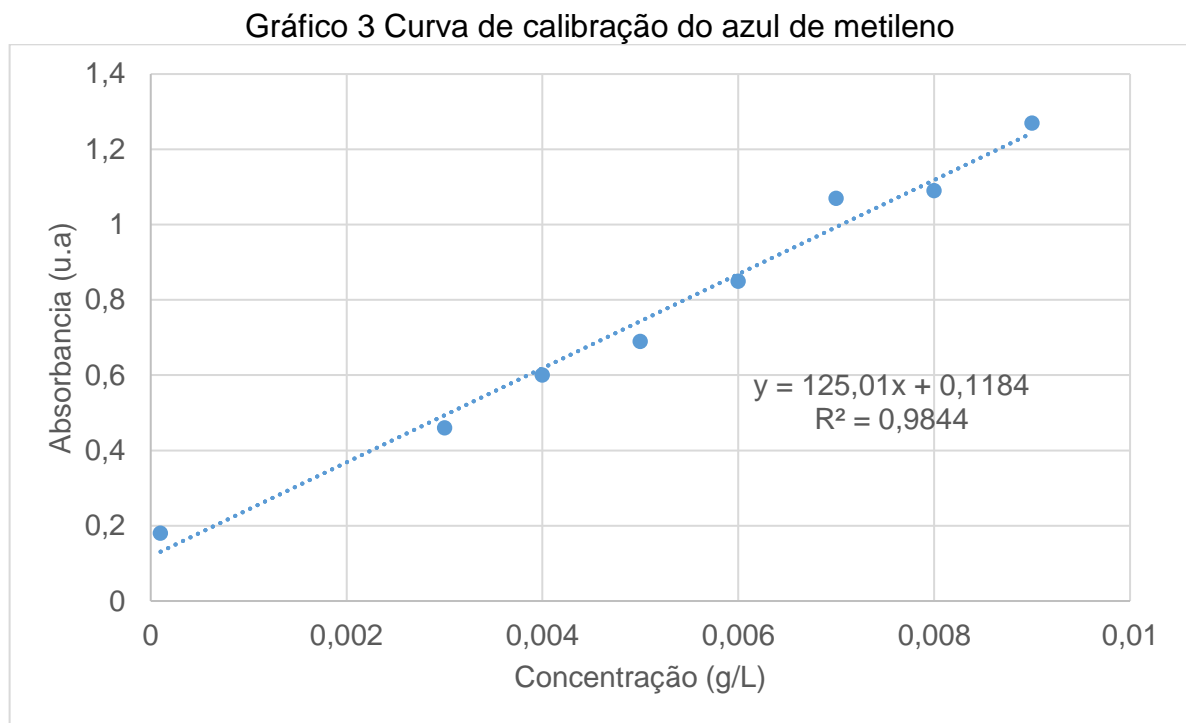


Fonte: Autoria Própria (2017)

Com os resultados obtidos pela titulação de Boehm, verificou-se que os grupos funcionais presentes na superfície dos carbonos ativados 1 são os fenólicos ($0,41\text{mmol g}^{-1}$) e carboxílicos ($0,12\text{mmol g}^{-1}$) e lactônicos ($0,10\text{mmol g}^{-1}$) conforme tabela 5.3. Na titulação em que foi utilizado o carbono ativado 2, os grupos funcionais presentes na superfície do material são os carboxílicos ($0,35\text{mmol g}^{-1}$) e lactônicos ($0,19\text{mmol g}^{-1}$) e fenólicos ($0,0\text{mmol g}^{-1}$), conforme tabela 5.4. Com esses resultados, fica visível que, no momento da ativação, o material oxidou os grupos fenólicos e aumentou o nível dos grupos carboxílicos como também os grupos lactônicos, com a oxidação houve uma doação de hidrogênios que saíram do grupo fenólico para os grupos carboxílicos e lactônicos, por isso que houve esse aumento na concentração do carbono ativado 2.

5.3 MECANISMOS DE ADSORÇÃO

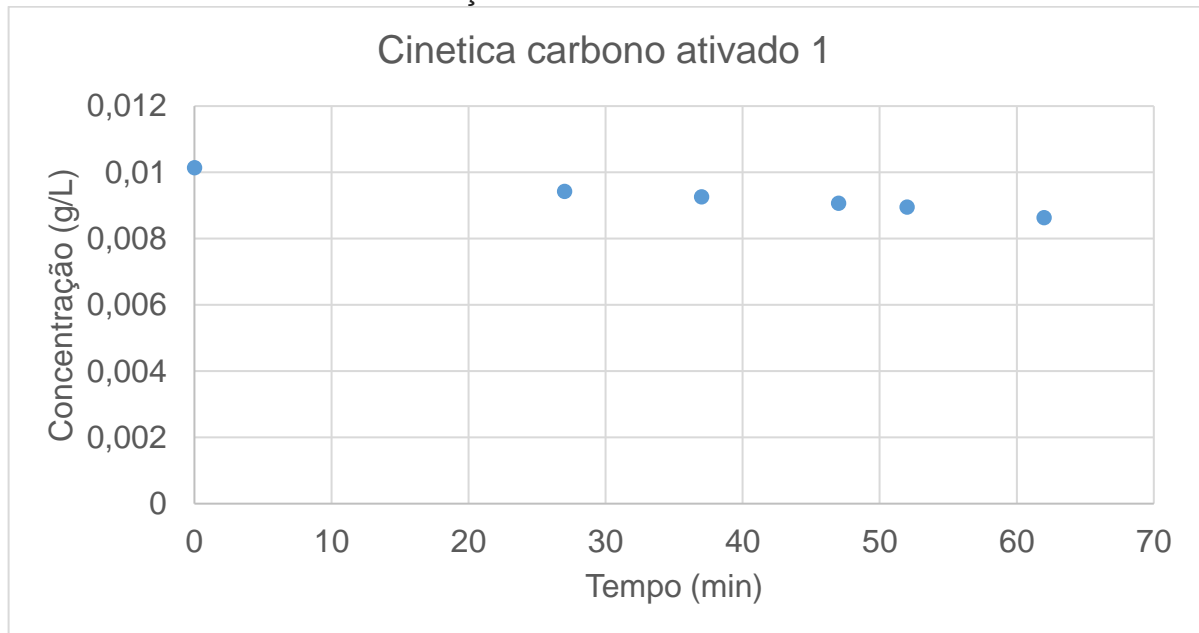
A curva de calibração foi montada para a conversão dos valores de absorbância para concentração e são apresentados no gráfico 5.3.



Fonte: Autoria Própria (2017)

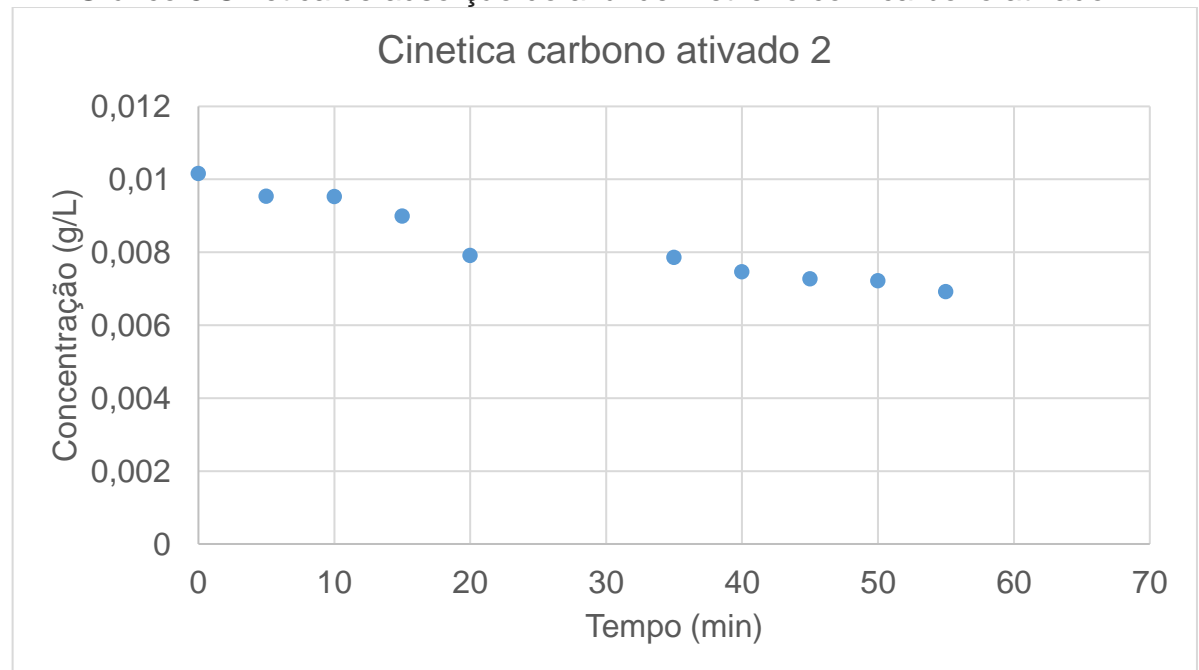
De acordo com os gráficos 4 e 5, comprovou-se a capacidade dos carbonos sintéticos gerados a partir do lodo de esgoto da ETE para a adsorção do azul de metileno. Porém em proporções bem distintas, o carbono ativado 1 teve sua eficiência muito baixa, pois sua absorbância inicial referente à final é bem próxima, mesmo tendo se passado 62 minutos de contato.

Gráfico 4 Cinética de adsorção do azul de metileno com carbono ativado 1



Fonte: Autoria Própria (2017)

Gráfico 5 Cinética de adsorção do azul de metileno com carbono ativado 2

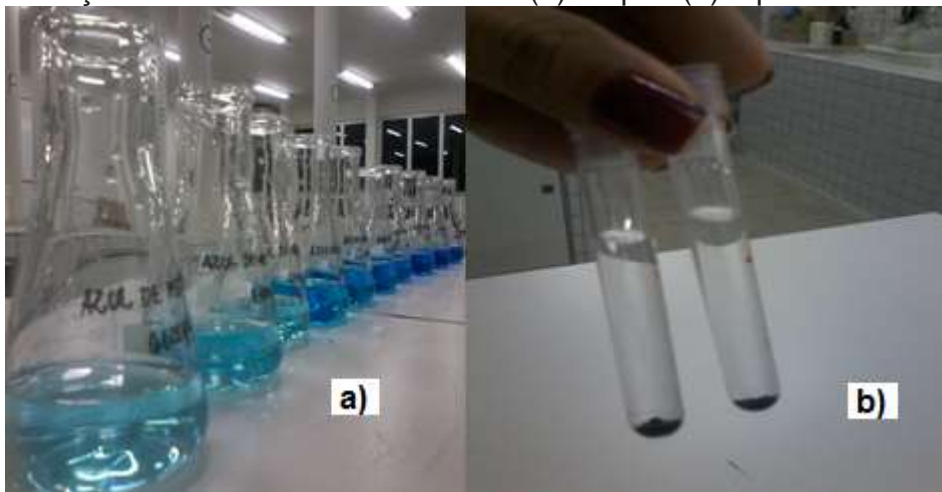


Fonte: Autoria Própria (2017)

O carbono sintético que passou por ativação mostrou uma capacidade muito eficiente na adsorção do azul de metileno. Sua absorvância inicial referente à final foi bem significativa, reduzindo em 55 minutos sua absorvância.

Foi verificado que, com o processo de ativação, o carbono sintético teve um aumento nos poros e, desse modo, se mostra mais eficiente que o carbono que não passou pelo processo de adsorção. Sendo assim, o carbono ativado sintético é um ótimo material para remoção do azul de metileno. Segundo Rios *et al.* (2009), como a superfície do carbono ativado apresenta muitos grupos funcionais (principalmente de caráter ácido), o mesmo tem sua eficiência bem maior que aquele que não passou pelo processo de ativação.

Figura 9 Soluções de azul de metileno antes (a) e após (b) o processo de adsorção



Fonte: Autoria Própria (2017)

5.4 EFICIÊNCIA DO ADSORVENTE

A eficiência do material é um aspecto muito importante para essa pesquisa, mas também é muito importante a comparação destes materiais com outros adsorventes padrão ou algum que se aproxime do material estudado. Seguindo esse pressuposto, foi realizado o estudo de eficiência dos materiais, utilizando-se como comparativo o CA comercial WV 1050. Na tabela 5.5 abaixo, é mostrada a eficiência dos materiais pesquisados nesse estudo.

Tabela 6 - Eficiência do adsorvente

ADSORVENTE	EFICIÊNCIA (%)			
	pH 3	pH 5	pH 7	pH 10
CARBONO ATIVADO 1	45,3	46,5	48,2	51,2
CARBONO ATIVADO 2	53,7	71,7	100	55,0
CARBONO ATIVADO WV 1050	59,2	70,2	83,7	98,8

Fonte: Autoria Própria (2017)

Geralmente, um adsorvente adequado para a adsorção de corantes deve satisfazer vários requisitos: ser eficiente para a remoção de uma grande variedade de corantes, ter capacidade e taxa de adsorção elevadas, ter uma seletividade elevada para diferentes concentrações e ser tolerante a uma vasta gama de parâmetros de águas residuais (AGUIAR, 2012).

Na tabela 6, é mostrada a eficiência (em porcentagem) dos materiais estudados na remoção do corante azul de metileno. Para fins de comparação do comportamento e da eficiência dos processos propostos nesse estudo, foram aplicadas as diferenças de pHs e a utilização de um adsorvente comercial.

Observou-se que as remoções percentuais do corante atingiram 100% para o carbono ativado 2 no pH 7. Para os outros CA, esse percentual já muda de acordo os pH utilizados; para o carbono ativado 1, o melhor percentual foi com o pH 10, com 51,2%, e, para o carbono ativado WV 1050, o melhor percentual foi com o pH 10, com 98,8%.

Foi observado que, com os pHs iniciais, os materiais não tiveram uma boa eficiência. Como foi mostrado no potencial de carga zero, a eficiência do material estava próxima ao pH neutro. E, com o estudo de sua eficiência, esses resultados foram comprovados. Portanto, para os materiais utilizados, a proximidade do pH neutro é de grande ajuda para o processo de adsorção.

Em comparação com o adsorvente comercial, verificou-se que sua capacidade de adsorver foi bem maior no pH 10 em comparação com os outros adsorventes. Mesmo assim, o carbono sintético a partir do lodo de esgoto mostrou sua eficiência

de 100% à frente dos dois materiais utilizados, uma vez que foi o único que conseguiu atingir 100% de sua eficácia. Com isso verifica-se que o carbono ativado 2 mostrou-se um ótimo adsorvente. Então, utilizar rejeitos de lodo de estação de tratamentos é muito eficaz para a produção de carbono ativado.

6 PRODUTO TECNOLÓGICO

O produto tecnológico desta dissertação é o carbono ativado sintético proveniente do lodo da Estação de Tratamento de Esgoto – ETE do Baldo em Natal – RN. Esse produto tecnológico tem duas vertentes importantes. Uma é o resíduo, o lodo que é gerado diariamente nas ETE, e cujo destino final sempre é o aterro sanitário. Isso causa grandes impactos ambientais, como a emissão de gases de efeito estufa (nomeadamente o metano, que é liberado na sua decomposição) e o chorume, que pode poluir os lençóis freáticos, além de reduzir o tempo de vida dos aterros sanitários. A segunda vertente é a utilização do carbono ativado nos processos de purificação da água, como a remoção de corantes e de outros compostos.

7 CONCLUSÕES

Os resultados descrevem a boa funcionalidade que oferecem os rejeitos do lodo da ETE com sua transformação em carbono. Esse rejeito se comportou como excelente matéria-prima ao ser transformada em carbono ativado de qualidade segundo sua aplicação em solução laboratorial.

O material apresentou um pH_{pcz} de 6,23 e 7,38 para os carbonos 1 e 2 respectivamente, com isso mostrando que a sua melhor eficiência estava a cima do pH ácido.

Os grupos ácidos encontrados na superfície do material foram os carboxílicos, lactônicos e fenólicos para o material ativado 1 e carboxílico e lactônicos para o material 2.

A solução de azul de metileno, a qual foi aplicada sobre o carbono ativado proveniente do lodo de esgoto, se mostrou amplamente sensível à ação adsorvente no teste de adsorção em comparação com os outros dois carbonos testados (carbono ativado 1 e o WV 1050). O carbono ativado 2 foi o que se comportou melhor com a adsorção: obteve uma eficiência de 100% no pH 7, enquanto o carbono não ativado teve eficiência de 51,25% no pH básico e o WV 1050 teve sua melhor eficiência também no pH básico, com 98,85%.

O estudo foi de grande importância para o tratamento de resíduos, a nível laboratorial, tendo em vista que o carbono ativado se mostrou eficaz na redução significativa do azul de metileno, reduzindo sua concentração em 100% em questão de minutos.

Com isso foi atingido o objetivo desde estudo, que era mostrar a capacidade de adsorção do lodo de esgoto transformado em carbono ativado sintético, tendo em vista que o mesmo teve um comportamento esperado para esse tipo de material poroso.

8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após as conclusões, as seguintes recomendações podem ser consideradas:

- Estudo da utilização de outras soluções como adsorbato para mostrar a melhor eficiência do material sintético;
- Reutilizar o material sintetizado como adubo, fazendo testes com nutrientes que são importantes para a sobrevivência de uma planta;
- Determinar outros parâmetros de caracterização do material sintetizado, como a área superficial, FRX, TGA, infravermelho, para melhor elucidar os mecanismos que regem o fenômeno de adsorção;
- Realizar estudo de viabilidade técnico-econômica do uso e da obtenção do material sintetizado, contemplando a sua regeneração, assim como o destino final quando da impossibilidade de regeneração.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, J.E. **Remoção de corantes têxteis utilizando adsorventes nanoporosos**. Dissertação (mestrado em engenharia química) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, Brasil, 2012.
- ANGELO, P. M; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – uma breve revisão. Artigo de revisão. Instituto Adolfo Lutz, 2007.
- ARAÚJO, R. S. Alumino e titanossilicatos mesoporosos para aplicações na fase líquida em processos de catálise e adsorção de hidrocarbonetos poliaromáticos. Tese (Doutorado em Química Inorgânica) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2005.
- BARBOSA, C. S.; SANTANA, S. A. A.; BEZERRA, C. W. B.; SILVA, H.A.S. **Remoção de compostos fenólicos de soluções aquosas utilizando carvão ativado preparado a partir do aguapé (*Eichhornia crassipes*): estudo cinético e de equilíbrio termodinâmico**. Revista Química Nova, 2014.
- BASTOS-NETO, M.; CANABRAVA, D. V; TORRES, A. E. B; RODRIGUEZ-CASTELLÓN, E; JIMÉNEZ-LÓPEZ, A; AZEVEDO, D. C. S; CAVALCANTE, C. L. **Effects of textural and surface characteristics of microporous activated carbons on the methane adsorption capacity at high pressures**. Revista Applied Surface Science 253. 2007.
- BEZERRA, D. P.; SILVA, F. W. M.; MOURA, P. A. S.; SAPAG, K.; VIEIRA, R. S.; RODRIGUEZ-CASTELLON, E.; AZEVEDO, D. C. S. **Adsorption of CO₂ on Amine-Grafted Activated Carbon**. Revista adsorption science & technology 32, 2014.
- BEZERRA, D.P.; OLIVEIRA, R. S.; VIEIRA, R. S.; CAVALCANTE JR., C. L.; AZEVEDO, D. C. S. **Adsorption of CO₂ on nitrogen-enriched activated carbon and zeolite 13X**. Revista adsorption 17, 2011.
- CASAS, A. L. **Tratamento de efluentes industriais utilizando a radiação ionizante de acelerador industrial de elétrons e por adsorção com carvão ativado. Estudo comparativo**. Dissertação (Mestrado em Ciências de Tecnologia Nuclear) – IPEN. São Paulo, 2004
- COONEY, D. O. **Adsorption Design for Wastewater treatment**. Lewis Publishers, USA, 1999.
- DAVINI, P. **Flue gas treatment by activated carbon obtained from oil-firedfly ash**. Revista Carbon, v.40, 1973-1979, 2002.
- FAN, J.; ZHANG, J.; ZHANG, C.; REN, L.; SHI, Q. **Adsorption of 2,4,6-trichlorophenol from aqueous solution onto activated carbon derived from loosestrife**. Revista Desalination, v.267, 2011.

FIERRO, V.; TORNE, V. F.; MONTANE, D.; CELZARD, A. **Adsorption of phenol onto activated carbons having different textural and surface properties**. Revista microporous mesoporous mater, v.111, p. 276-284, 2008.

GILES, C.H.; SMITH, D`SILVA, A.P.; EASTON, I.A. **A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm**. Part II. Experimental Interpretation. Journal of Colloid and Interface Science v.47, 1974.

HERAUSGEGEBEN VON, H.F; MARK, D.F; OTHMER, C.G; OVERBERGER, G.T. **Kirk-othmer: encyclopedia of chemical technology**. New York 1979.

JALIL, M.E.R. **Desarrollo de arcillas pilareadas con al a partir de una bentonita natural de la norpatagonia argentina para la remoción de tiabendazol**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidad Nacional de San Luis. Argentina, 2010.

LEBLANC, R. J; MATTHEWS, P.; RICHARD, R. P. **Global atlas of excreta, wastewater sludge and biosolids management: moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource**. United Nations Human Settlements Programme. Canadá, 2008.

LEYVA, R. R. **Importancia y aplicaciones de la adsorción em fase líquida em sólidos porosos preparación, caracterización y aplicaciones**. Ed. Moreno-Pirajan J.C., Bogotá, Colômbia, 2007.

LIMOUSIN, G; GAUDET, J. P; CHARLET, L; SZENLNECT, S; BARTHES, V. E; KRIMISSA, M. **Sorption isotherms: a review on physical bases, modeling and measurement**. Revista Applied Geochemistry, 2007.

LONGHINOTTI, E; FURLAN, L; LARANJEIRA, M. C. M; FÁVERE, V. T. **Adsorção de azul de metileno e croconato amarelo pelo biopolímero quitina**. Revista Química Nova, São Paulo, 1996.

MARTÍNEZ, A. M. **Sesquiterpenlactonas**. Facultad de Química Farmacéutica, Medellín, 2002.

MILTON, T. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A; HESPANHOL, I. **Biossólidos na agricultura**. Editora Aidis, São Paulo, 2001.

POTGIETER, J.H. **Journal chemical education**. V. 68, 349, 1991.

RIOS, R. B.; SILVA, F. W. M.; TORRES, A. E. B.; AZEVEDO, D. C. S.; CAVALCANTE, C. L. **Adsorption of methane in activated carbons obtained from coconut shells using h3po4 chemical activation**. Revista Adsorption, 15, 271-277, 2009.

ROCHA, W. D. **Carvão ativado a partir de resíduos agrícolas e suas aplicações na adsorção de íons metálicos**. Dissertação (mestrado em engenharia mineral), Universidade Federal de Ouro Preto, 2006.

ROUQUEROL, J.; ROUQUEROL, F.; SING, K. S. W. **Adsorption by powders andamp**. Porous solids. San Diego, 1999.

RUTHVEN, D. M. **Principles of Adsorption and Adsorption Properties**. John Wiley & Sons. New York, 1984.

SANTIAGO, M. S; OLIVEIRA, N. P. M; OLIVEIRA, K. B; MENEZES, L. S; MEDEIROS, A. J. D. **Adsorção de micropoluentes orgânicos em carbono ativado**. Revista de Química Industrial. Rio de Janeiro, 2015.

SMITH, K. M.; FOWLER, G. D.; PULLKET, S.; GRAHAM, N. J. D. **Sewage sludge-based adsorbents: a review of their production, properties and use in water treatment applications**. Water Research, v.43, p. 2569-2594, 2009.

SOUZA, L. A. **Principais ácidos carboxílicos**. Brasil Escola. disponível em: <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/principais-acidos-carboxilicos.htm>>. acesso em: 10 de maio de 2017.

WERTHER, J.; OGADA, T. **Sewage sludge combustion**. Progress in Energy and Combustion Science, v.25, p. 55-116, 1999.

