

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CURSO SUPERIOR DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**DEIVITI FILIPE IMPOSSETTO**

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO UTILIZANDO SEMENTE DE  
TAMARINDO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**APUCARANA**

**2019**

**DEIVITI FILIPE IMPOSSETTO**

**PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO UTILIZANDO SEMENTE DE  
TAMARINDO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, apresentado ao Curso Superior de Licenciatura em Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Apucarana, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rúbia Michele Suzuki

Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maraísa Lopes de Menezes

**APUCARANA**

**2019**



Ministério da Educação  
**Universidade Tecnológica Federal do  
Paraná**  
Câmpus Apucarana  
COLIQ – Coordenação do Curso  
Superior de Licenciatura em Química



---

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **Produção de Carvão Ativado Utilizando Semente de Tamarindo**

por

Deiviti Filipe Impossetto

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado aos 25 dias do mês de junho do ano de 2019, às 16 horas, como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Química, linha de pesquisa de Processos de Separação, do Curso Superior de Licenciatura em Química da UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela banca examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Profa. Dra. Rúbia Michele Suzuki – ORIENTADORA

---

Prof. Dr. Fernando Alves da Silva – EXAMINADOR

---

Profa. Dra. Maria Carolina Sergi Gomes – EXAMINADORA

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nesses anos como universitário, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

A minha mãe Marli, minha heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço, que com certeza sem você eu não teria chegado até aqui. Ao meu pai José que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu, me ensinando que sempre precisamos ir atrás de nossos sonhos e ambições, que para mim é muito importante e é o meu maior exemplo de homem. A minha irmã Ana Beatriz pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Obrigado por me fazerem entender que o futuro é feito da constante dedicação no presente.

A toda minha família, aos meus avós, tios e tias e primos e primas que são a minha base, que em todos os momentos de alegria e tristeza, vocês estiveram comigo, me apoiando e incentivando. Em especial agradeço a minha avó Ana que amo muito, minha segunda mãe, obrigado por todo amor e carinho, e a todos seus ensinamentos. As minhas tias Leonice e Vanderli por todos os momentos de risadas, por sempre torcerem por mim e sempre dispostas a me ajudar, por tudo que fizeram e fazem por mim, obrigado por me acolherem como filho, à vocês toda minha gratidão. As minhas primas Camila, Débora e Gabi por sempre estarem presentes em minha vida, alegrando e compartilhando os bons momentos, pelas palavras de Fé e por serem os meus presentes de Deus.

Aos meus amigos Maicon, Hygor, Jean, Jéssica Larisse, Jéssica Estrada, Larisse, Tayná, Vanessa e Jennifer por fazerem parte da minha vida e apesar da distância estarem presentes.

Aos amigos que a UTFPR-AP me deu, Miliane, Ana Beatriz, Beatriz Schulz, Jocirlei, Ariel, Glayce, Jordana, Rafaela, Beatriz Santos, Camila, Daphne, Felipe, Larissa Rinaldi, Eloisa, Lucas, Thandara e Orivaldo (Mima), *em memória*, obrigado por fazerem parte da minha vida, compartilhando todos os momentos e tornando os meus dias mais alegres e prazerosos.

A minha melhor amiga Carolina pelo companheirismo, carinho e amizade, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos alegres e tristes. A minha amiga Fernanda por ser a minha irmã nesses anos, pelo apoio, convivência, troca de experiências, por todos os momentos alegres e pela amizade.

Aos meus amigos de laboratório e pesquisa Fernanda Aguilieri, Lucas Fenato e Vinicius Higutti, por toda ajuda e apoio durante esse período tão importante da minha formação acadêmica.

A minha orientadora Profa. Dra. Rúbia Michele Suzuki por todo apoio, dedicação e paciência ao longo da minha pesquisa.

A minha co-orientadora Profa. Dra. Maraísa Lopes de Menezes por toda sua simpatia e por fornecer as sementes de tamarindo.

Aos professores Prof. Dr. Fernando Alves da Silva e Profa. Dra. Maria Carolina Sergi Gomes por aceitarem o convite de participação da banca.

A todos professores ao qual tive a oportunidade de receber os seus conhecimentos e que tão bem me ensinaram. Em especial, a professora Profa. Dra. Lilian T. D. Tonin por toda a experiência no PIBID, por toda a dedicação e ensinamentos, você foi a minha base para o desenvolvimento acadêmico, agradeço também por toda ajuda com os espectros de FTIR. A Profa. Dra. Angelica C. Rivelini por ter me orientado na IC e me mostrado o lado fascinante da área de Ensino e ao Prof. Dr. Alessandro Martins por ter me orientado na IC, por todos os conselhos e incentivos a estudar para ter um futuro promissor.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigado.

*“Suba o primeiro degrau com Fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo”.*

Martin Luther King

## RESUMO

IMPOSSETTO, Deiviti Filipe. Produção de Carvão Ativado Utilizando Semente de Tamarindo. 2019. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Apucarana, 2019.

As indústrias alimentícias e farmacêuticas utilizam o tamarindo como fonte de matéria-prima para a produção de pastas, sucos e remédios. Durante a produção, as sementes e cascas são descartadas e somente a polpa é utilizada, gerando resíduos. A busca por métodos para reaproveitamento de resíduos estão sendo desenvolvidos, como a produção de carvão ativado. Assim, este trabalho foi desenvolvido com a finalidade de produzir um material adsorvente, de baixo custo, utilizando como precursor as sementes de tamarindo por meio da ativação química, hidróxido de sódio (3:1 m/m). O tamarindo demonstra ser um bom precursor para a produção de carvão ativado por apresentar baixo teor de umidade ( $6,5951 \pm 0,2294$  %), baixo teor de cinzas ( $1,9883 \pm 0,0156$  %) e elevado teor de compostos voláteis ( $97,9690 \pm 0,0155$  %). O material adsorvente obtido foi caracterizado por meio da análise de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR), pH no ponto de carga zero (6,87), Número de iodo ( $989,645 \pm 22,782$  mg g<sup>-1</sup>) e Índice de azul de metileno ( $286,1972 \pm 3,9885$  mg g<sup>-1</sup>). Os resultados indicam que o material adsorvente obtido apresenta característica microporosa. A ativação química foi eficiente, pois os valores iniciais de NI e IAM para a semente de tamarindo *in natura* aumentaram após a ativação, o que também pode justificar essa eficiência é o fato desses valores serem maiores que os obtidos para o carvão comercial.

**Palavras-chave:** Ativação Química; Resíduo; Adsorção.

## ABSTRACT

IMPOSSETTO, Deiviti Filipe. Production of Activated Charcoal Using Tamarind Seed. 2019. 35 f. Course Conclusion Work, Federal Technological University of Paraná. Apucarana, 2019.

The food and pharmaceutical industries use tamarind as a source of raw material for the production of pasta, juices and medicines. During production, the seeds are discarded and only one pulp is used, generating waste. The search for methods for reappropriation of data stocks is being developed, such as an activated carbon production. Thus, this work was developed with the purpose of producing a low cost adsorbent material using the precursor as tamarind seeds to bind the medium, sodium hydroxide (3:1 m / m). The right to demonstrate, therefore, the importance of presenting their qualities ( $6,5951 \pm 0,2294\%$ ), low ashes ( $1,9883 \pm 0,0156\%$ ) and high volatile support content ( $97,9690 \pm 0.0155\%$ ). The adsorbent material was analyzed by means of Fourier transform (FT-IR) radiation analysis, pH without zero charge point (6,87), iodine number ( $989,645 \pm 22,782 \text{ mg g}^{-1}$ ) methylene ( $286.1972 \pm 3.9885 \text{ mg g}^{-1}$ ). The results indicate that the adsorbent material increased has the microporous characteristic. Chemical activation was efficient because the initial levels of NI and AMI for in natura were increased after activation, which may also justify the efficiency and values of these factors are greater than the results for the commercial trade.

**Keywords:** Chemical Activation; Residue; Adsorption.



## LISTA DE QUADROS

Tabela 1	–	Classificação de poros.....	18
Tabela 2	–	Composição Centesimal e Rendimento.....	29
Tabela 3	–	IAM e área específica do CA-ST, ST <i>in natura</i> e CA-Comercial.....	31
Tabela 4	–	NI do CA-ST, ST <i>in natura</i> e CA-Comercial.....	32
Tabela 5	–	Quantidade de grupos funcionais.....	36

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Árvore do Tamarindo.....	19
Figura 2	–	Casca, semente e polpa do Tamarindo.....	20
Figura 3	–	Estrutura dos grupos funcionais ácidos.....	22
Figura 4	–	Molécula do corante AM.....	23
Figura 5	–	Produção de CA-ST.....	26
Figura 6	–	Análise Termogravimétrica da ST <i>in natura</i> .....	30
Figura 7	–	Xiloglucano.....	31
Figura 8	–	Gráfico de Adsorção do NI e IAM.....	33
Figura 9	–	Gráfico do $\Delta$ pH e pH final <i>versus</i> pH inicial para o CA-ST.....	34
Figura 10	–	Espectro de FTIR da amostra de CA-ST e ST <i>in natura</i> .....	35
Figura 11	–	Análise Termogravimétrica do CA-ST.....	37

## LISTA DE SIGLAS

CA	Carvão Ativado
NI	Número de Iodo
IAM	Índice de Azul de Metileno
TGA	Análise Termogravimétrica
FTIR	Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier
PCZ	Ponto de Carga Zero
ST	Semente de Tamarindo
CA-ST	Carvão Ativado a partir da Semente de Tamarindo
MC	Material Carbonizado
ST <i>in natura</i>	Semente de Tamarindo <i>in natura</i>
CA-Comercial	Carvão Ativado Comercial
IUPAC	União Internacional de Química Pura Aplicada

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	13
2.1 Objetivo Geral .....	13
2.2 Objetivos Específicos .....	13
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	14
3.1 Produção de Carvão Ativado .....	14
3.2 Ativação Química .....	15
3.2.1 Ativação Básica .....	16
3.3 Adsorção .....	16
3.4 Porosidade .....	17
3.5 Semente de Tamarindo .....	19
3.6 Método de Boehm .....	21
3.7 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier .....	22
3.8 Índice de Azul de Metileno (IAM) .....	23
3.9 Número de Iodo (NI) .....	23
3.10 Ponto de Carga Zero (PCZ) .....	24
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	25
4.1 Caracterização das Sementes de Tamarindo .....	25
4.2 Produção do Carvão Ativado .....	25
4.3 Ponto de Carga Zero (PCZ) .....	27
4.4 Número de Iodo (NI) .....	27
4.5 Índice de Azul de Metileno (IAM) .....	27
4.6 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) .....	28
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	29
5.1 Caracterização do Precursor .....	29
5.2 Caracterização do Adsorvente .....	31
5.2.1 Índice de Azul de Metileno (IAM) .....	31
5.2.2 Número de Iodo (NI) .....	32
5.2.3 Ponto de Carga Zero (PCZ) .....	33
5.2.4 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) .....	35
5.2.5 Método de Boehm .....	36
5.2.6 Análise Termogravimétrica (TG) .....	37
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	38
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	39

## 1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento populacional e ao aumento nas atividades industriais que provocam um grande volume de resíduos “despejados” no meio ambiente, têm-se desenvolvido métodos que possibilitam a diminuição da poluição (PEREIRO, 2016). Uma das formas de reaproveitamento desses resíduos é sua utilização como materiais adsorventes, produzindo carvão ativado (CA).

O CA é um material altamente poroso e adsorvente; e suas propriedades o tornam um excelente material para a remoção de poluentes, como em tratamento de água e efluentes. É também muito utilizado em vários setores industriais, como no de alimentos, farmacêutico, químico e de petróleo (AL BAHRI *et al.*, 2013). Devido a esta demanda e ao alto custo da matéria prima, e também pela preocupação com o meio ambiente, novas fontes precursoras estão sendo utilizadas para a produção de CA, cumprindo os requisitos necessários para um desenvolvimento sustentável (ZHU *et al.*, 2016). Estas novas fontes podem ser resíduos não aproveitados na indústria, como casca de arroz (REIS; SILVA; NEVES, 2015), endocarpo de coco da baía (MANGUEIRA, 2014), cascas de romã (AMIN, 2009), bagaço da cana-de-açúcar (AMIN, 2008), sementes de seriguela (PEREIRA *et al.*, 2014) e sementes de uva (AL BAHRI *et al.*, 2012).

No desenvolvimento produtivo de alimentos, remédios e entre outros, observa-se a geração de resíduos que geralmente são descartados sem destinação correta. Desse modo, busca-se uma destinação adequada para estes resíduos, que podem ser reaproveitados na produção de adsorventes de baixo custo, como o CA que pode ser empregado em processos de descontaminação ambiental (DE SALES, 2015).

A maior utilização de tamarindo é para o preparo de sucos, doces, sorvetes, pastas e bebidas a partir da polpa, sendo descartadas as sementes e aumentando os resíduos industriais sem destinação. Visto isso, as sementes de tamarindo (ST) podem ser aproveitadas para a produção de CA, necessitando de estudos que comprovem seu potencial (REIS, 2013).

Nesse contexto, o presente estudo visa a utilização de resíduos sólidos descartados de tamarindo para a produção de CA.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

Preparar carvão ativado a partir das sementes de tamarindo por ativação química para ser empregado como material adsorvente.

### 2.2 Objetivos Específicos

- I. Realizar ativação química utilizando NaOH, para a produção de carvão ativado a partir da semente de tamarindo;
- II. Caracterizar o material precursor por Análise Termogravimétrica (TGA), Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) e pela da composição centesimal (umidade, cinzas, compostos voláteis e carbono fixo);
- III. Caracterizar o carvão ativado quanto a classificação de porosidade utilizando as técnicas de Número de Iodo (NI) e Índice de Azul de Metileno (IAM);
- IV. Caracterizar o carvão ativado por meio das técnicas FTIR e Ponto de Carga Zero (PCZ);
- V. Comparar o carvão ativado produzido com o carvão comercial, em relação ao NI e IAM.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Produção de Carvão Ativado

O CA é um material carbonoso, altamente poroso e adsorvente obtido pela carbonização e ativação de materiais carbonáceos. A carbonização é realizada sobre o fluxo de gases inertes e sem a presença de agentes químicos, obtendo um material não adsorvente. A ativação converte o carvão em um material adsorvente e, sobretudo pode possuir grande área específica, onde pode alcançar valores superiores a  $2000 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , que podem ser facilmente empregados em indústrias como material adsorvente (GUIMARÃES, 2006). Para atingir determinadas características de carvão poroso, o processo de produção depende do precursor utilizado e dos processos de ativação empregados (PEREIRO, 2016).

A produção de CA ocorre, basicamente, por dois processos: ativação física ou ativação química. Na ativação primeiro é realizada a carbonização, que ocorre em temperaturas elevadas, entre  $400\text{-}500^\circ\text{C}$ , liberando os compostos voláteis e formando carbono fixo, tratando-se da pirólise, onde ocorre a decomposição e ruptura de estrutura molecular original sem ou com adição de oxigênio (PEZOTI *et al.*, 2016).

Após o processo de carbonização, ocorre a ativação. A ativação física é feita na presença de gases, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), vapor ou ar, cada gás terá um impacto diferente na estrutura final do carvão. Neste processo, ocorre o desenvolvimento da estrutura porosa e, também, o aumento do volume microporoso, resultando na maior área específica devido à presença destes gases que oxidam o material precursor e retiram os átomos de carbonos mais reativos. Geralmente é utilizado o  $\text{CO}_2$ , pois se apresenta na forma mais limpa, com maior facilidade no manuseio, e por ter velocidade lenta de reação (JUNIOR, 2010). A ativação química envolve a impregnação do material precursor com um agente ativador, esse agente químico desenvolvendo melhor os poros do CA em relação à ativação física.

### 3.2 Ativação Química

A ativação química é a impregnação de um agente ativante no material precursor e, em seguida, passam por um tratamento térmico com atmosfera inerte, gerando poros, que se tornam bem acessíveis quando o agente ativante é retirado na etapa de lavagem (SILVA, 2014). Na etapa de impregnação, o precursor é misturado com certa quantidade de agentes químicos, que podem ter propriedades ácidas:  $ZnCl_2$ ,  $H_3PO_4$ ,  $HCl$  e  $H_2SO_4$ , ou propriedades básicas:  $KOH$  e  $NaOH$ . Na etapa de carbonização as temperaturas utilizadas na ativação química são mais baixas, entre  $400 - 800^\circ C$ , enquanto que na ativação física é em torno de  $800 - 1000^\circ C$  (TSAI; CHANG; LEE, 1997).

O cloreto de zinco ( $ZnCl_2$ ) é o agente químico mais utilizado para a ativação nos carvões ativados. Ahmadpour e Do (1997) descreveram que a ativação química utilizando  $ZnCl_2$  melhora o desenvolvimento de poros na estrutura do carbono e devido ao efeito dos agentes químicos, os rendimentos de carbono são geralmente altos. O  $H_3PO_4$  pode realizar ligações cruzadas entre o agente ativante e os biopolímeros que compõe esses materiais, induzindo a uma despolimerização e levando a um aumento do volume de poros, tornando ele eficiente para a remoção de metais pesados, funcionando como um trocador de cátion em soluções aquosas ácidas, além de ajudar na proteção do CA evitando a queima excessiva do mesmo. Uma característica importante desse ativante é que ele não é um poluente, sendo de fácil recuperação, pois consisteria em dissolver sais em água (XU *et al.*, 2014).

A ativação química é tipicamente conduzida em temperaturas inferiores às utilizadas na ativação física, permitindo obter CAs com maiores rendimentos devido à habilidade de desidratação do agente químico, o qual inibe a produção de substâncias voláteis durante o processo (PEZOTI *et al.*, 2014). Além disso, os CAs obtidos pelo processo de ativação química apresentam maiores valores de áreas específicas e rendimentos do que aqueles obtidos pelo processo físico (NOR; LAU; LEE, 2013). Outro fator importante a ser considerado é que os ativantes químicos podem ser removidos por meio da lavagem do carvão e minimizando danos ao meio ambiente (TSAI; CHANG; LEE, 1997).



### 3.2.1 Ativação Básica

Na ativação básica, os agentes químicos mais utilizados, na maioria das vezes, é o NaOH e KOH. Esse tipo de ativação favorece na produção de CA, pois o material adsorvente apresenta um grande volume de microporos que são responsáveis, em grande parte, pela área específica, ou seja, proporcionando uma grande área específica. Neste trabalho é utilizado o NaOH, que apresenta outras características que favorecem a produção de CA quando comparado com o KOH, que possui peso molecular 56,1 g/mol que é maior que o de NaOH, 40,0 g/mol. Assim, a dosagem de CA por NaOH é menor que o de CA por KOH. Com base na avaliação do ciclo de vida, NaOH é menos prejudicial ao meio ambiente e o NaOH é menos corrosivo que KOH, apresentando maior durabilidade do equipamento para a ativação do NaOH (TSENG, 2006).

A ativação básica tem como característica produzir materiais adsorventes altamente porosos. Segundo Tseng (2006) a ativação do sabugo de milho com NaOH em uma proporção de 3:1 (NaOH:MC) apresentou uma grande área específica de 2318 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>. Essa grande área específica está relacionada com o número de microporos, em grande parte os microporos favorecem esse fato.

Outro estudo com ativação com NaOH é o carvão ativado produzido a partir de sementes de goiaba, onde foi aplicado com sucesso para adsorção de amoxicilina, a partir de solução aquosa. O CA de semente de goiaba exibiu alta área superficial, de 2573,6 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> e microporosa (85%) (PEZOTI, 2016)

### 3.3 Adsorção

A adsorção é a tendência de acumulação de uma substância sobre a superfície de outra. Essa técnica de separação envolve o contato de uma fase fluida livre com uma fase permanente, que retém ou guarda seletivamente uma, ou mais de uma, das espécies contidas inicialmente na fase fluida (GUIMARÃES, 2006).

Deste modo, quando temos uma mistura de duas fases, observamos na fase fluida, líquida ou gasosa, o componente diluído que será adsorvido, denominado adsorvato, e na fase permanente, o sólido, denominado adsorvente. Quando estas duas fases entram em contato, o componente diluído fica retido na superfície do

adsorvente por meio da difusão entre as fases. Quando o componente adsorvido deixa a superfície do sólido de volta para a fase líquida ou gasosa, chamamos de dessorção (SILVA, 2012).

A adsorção pode ser classificada como física ou química. Na adsorção física as forças intermoleculares entre adsorvente e adsorvato são relativamente fracas, quando comparadas a adsorção química, essas forças são semelhantes às de atração na condensação de vapores. Envolvendo o fenômeno das forças de van der Waals. Na adsorção química é formado uma ligação química entre adsorvente e adsorvato, isso ocorre pelo rearranjo de elétrons transferidos ou compartilhados entre ambos. Chamada também de quimissorção, a interação deste tipo é muito mais forte do que em comparação com a adsorção física (GUIMARÃES, 2006).

Vários fatores afetam na adsorção, como o diâmetro do adsorvato, que compostos menores são facilmente adsorvidos pelo adsorvente e conseqüentemente a adsorção é maior. Fatores como pH, solubilidade e estrutura molecular também influenciam no grau de adsorção. A estrutura molecular é importante, pois depende do tipo e a localização dos grupos funcionais responsáveis pela adsorção (SILVA, 2012).

### 3.4 Porosidade

A porosidade é um dos aspectos mais importantes para materiais adsorventes e carbonosos para avaliação de seu desempenho. As diferenças nas características de adsorção estão relacionadas com a estrutura dos poros do material. Na Tabela 1 é apresentado a classificação dos poros de CA baseado nas propriedades de adsorção estabelecidas pela IUPAC (MOCELIN, 2007).

Tabela 1 – Classificação de poros.

TIPO DE PORO	DIÂMETRO MÉDIO (DM)	FUNÇÃO PRINCIPAL
<b>MICROPOROS</b>	$dm < 2 \text{ nm}$	Contribuem para a maioria da área superficial que proporciona alta capacidade de adsorção para moléculas de dimensões pequenas, tais como gases e solventes comuns. Os microporos são determinados em laboratório empregando a pequena molécula do iodo ( $I_2$ ).
<b>MESOPOROS</b>	$2\text{nm} < dm < 50\text{nm}$	São importantes para a adsorção de moléculas médias, tais como corantes e proporcionam a maioria da área superficial para carvões impregnados com produtos químicos. Os mesoporos são determinados em laboratório empregando a molécula de azul de metileno, que também fornece informações sobre a troca catiônica.
<b>MACROPOROS</b>	$dm > 50 \text{ nm}$	São normalmente considerados sem importância para a adsorção e a sua função é servir como meio de transporte para as moléculas.

Fonte: Mocelin (2007).

### 3.5 Semente de Tamarindo

O tamarindeiro é uma árvore frutífera que pode chegar a 25 metros de altura, Figura 1, pertencente à família Leguminosae e com nome científico *Tamarindus indica* L, originário da África do Sul e encontrado em muitos países da Ásia, como a Índia que é a maior produtora de tamarindos. Podem ser, também encontrados tamarindos na América do Sul por apresentar regiões tropicais, com o clima típico desta árvore frutífera (RODRIGUES, 2016).

**Figura 1 –** Árvore do Tamarindo.



**Fonte:** Rodrigues, 2016.

No Brasil, as informações de produção de tamarindo ainda são bem escassas mas, segundo Souza (2018), a produção estimada anual é de 12 a 18 toneladas por hectare, e o tamarindo mostrou-se bem adaptado em algumas regiões, como Norte e Nordeste, onde se concentra os maiores cultivos devido ao clima tropical. O tamarindo pode ser dividido em casca, polpa e semente, Figura 2, sendo que as semente representam 40% do peso total. Cada unidade apresenta 10 sementes e o restante do peso (60%) é da casca e da polpa, obtendo um peso total de 10 a 15g. Ainda que pouco explorada, a polpa do tamarindo é utilizado na indústria medicinal e principalmente na indústria de alimentos, na produção de laxantes e sucos, de modo que, suas sementes não são reaproveitadas.

**Figura 2** – Casca, semente e polpa do tamarindo.



**Fonte:** Rodrigues, 2016.

Considerando o reaproveitamento dessas sementes que geralmente são descartadas, é possível avaliar sua utilização como material precursor para a produção de CA. Estudos a partir das ST demonstram alta eficiência de adsorção. Ramesh, Rajalakshmi e Dhathathreyan (2015) produziram um CA altamente poroso com uma alta capacidade de armazenamento de hidrogênio de 4,73 % em peso, devido a ativação com hidróxido de potássio que apresentou grande área específica de  $1785 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ .

Segundo Tril *et al.* (2014), o tamarindo apresenta um conteúdo relevante de celulose, ligninas e hemicelulose. Estas características definem o tamarindo como um bom precursor para a produção do CA.

Para produção do CA a escolha do precursor é importante e os principais requisitos a serem levados em consideração são o teor de cinzas, teor de carbono fixo, teor de compostos voláteis e teor de umidade, degradação, baixo custo e, sobretudo, a disponibilidade e facilidade de ativação (SILVA, 2014).

O teor de cinzas é o resíduo inorgânico que permanece na queima de um material orgânico e para o CA este teor deve ser baixo, pois as cinzas são solúveis em água interferindo na capacidade adsortiva. Entretanto, existem pré-tratamentos que eliminam as interferências das cinzas no CA, tornando este material mais hidrofóbico. O processo pode ser feito por meio de lavagem com água deionizada ou com soluções de ácidos inorgânicos (JUNIOR, 2010).

O teor de compostos voláteis é avaliado pela decomposição da matéria orgânica durante a carbonização, podendo ser liberado dióxido de carbono e água. Este teor deve ser elevado, pois quanto maior o número de compostos orgânicos,

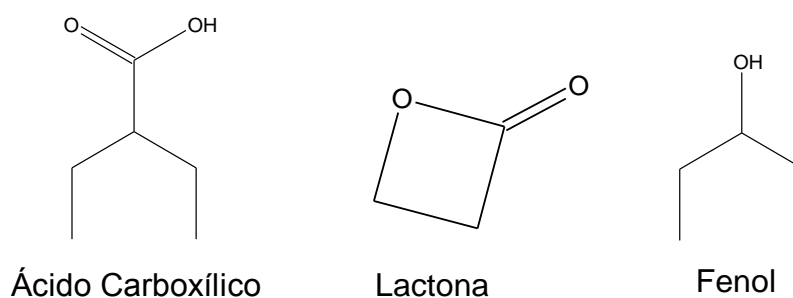
menor o número de compostos inorgânicos (JUNIOR, 2010). Após a volatilização dos compostos orgânicos, sobram os compostos inorgânicos e um esqueleto carbonizado, juntamente com uma massa de carbono fixa. O material de carbono fixo deve ser elevado, pois proporcionará um aumento da área específica e a porosidade (PEREIRO, 2016).

A umidade é a quantidade de água presente em um determinado material, sendo que para o carvão ideal este teor deve ser baixo para que tenha uma boa estabilidade física e química até o momento do uso (SILVA, 2014).

Segundo Karder *et al.* (2013), as ST possuem um teor de umidade de 8-10%, e um teor de compostos voláteis de 62-64%. E Sahu; Acharya; Meikap (2010) relata que as ST possuem teor de carbono de 45-60% e cinzas de 4-5%, demonstrando assim características favoráveis para ser um bom precursor de CA, pois apresentam baixo teor de cinzas e umidade, e teores de compostos voláteis e carbono fixo relativamente altos.

### 3.6 Método de Boehm

O método de Boehm é uma técnica titulométrica que determina a quantidade de grupos funcionais com oxigênio na superfície do CA. Essa técnica envolve a neutralização de grupos ácidos, apresentado na Figura 3, da superfície do CA com bases de forças diferentes, a partir da consideração de que NaOH neutraliza os grupos carboxílicos, lactônicos e fenólicos; Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> neutraliza os grupos carboxílicos e lactônicos e NaHCO<sub>3</sub> neutraliza apenas os grupos carboxílicos. Os grupos básicos são neutralizados por solução de HCl (SILVA, 2006).

**Figura 3** – Estrutura dos grupos funcionais ácidos.

**Fonte:** Autoria própria.

O método de Boehm fornece informações qualitativas e quantitativas sobre a superfície do CA. No entanto, os grupos ácidos são limitados a ácidos carboxílicos, lactônicos e fenólicos, excluindo outros grupos que poderiam estar presentes como por exemplo cetonas, éteres e aldeídos. Porém é uma técnica que contribui para a determinação de grupos funcionais (GUIMARÃES, 2006).

### 3.7 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier

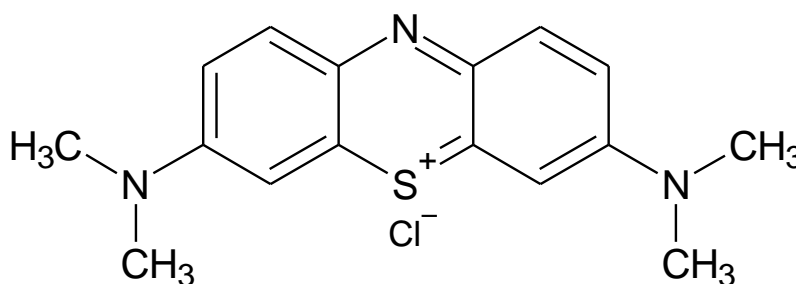
A Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) é uma técnica para estimar qualitativamente os grupos funcionais presentes na superfície dos adsorventes.

A atribuição dos grupos funcionais é dada por bandas produzidas no espectro obtido pela amostra, onde ligações químicas possuem frequência de vibrações que correspondem a níveis de energias vibracionais. Essa vibração somente aparece no espectro se ocorrer uma variação no momento dipolar da molécula. Sendo assim o FTIR permite identificar a presença de grupos funcionais que absorvem radiação entre  $4000$  e  $400\text{ cm}^{-1}$  e identificando os grupos por bandas que apresentam comprimentos de ondas específicos (GUIMARÃES, 2006).

### 3.8 Índice de Azul de Metileno (IAM)

O IAM determina a capacidade adsortiva de moléculas médias similares à do corante azul de metileno (AM), apresentado na Figura 4, podendo assim estimar a mesoporosidade do CA visto que o diâmetro médio desses poros, segundo a IUPAC, corresponde entre 2 a 50 nm. A partir disso, presume-se que, quanto maior for a adsorção dessas moléculas, maior será o número de mesoporos disponíveis (EVERALDO, 2014).

Figura 4 – Molécula do Corante AM.



Fonte: Autoria própria.

O IAM pode estimar a mesoporosidade, porque segundo Moreno *et al.* (2005), a seção transversal da molécula de AM é de aproximadamente 0,8 nm e para ser adsorvida, os poros necessitam de uma abertura mínima de 1,3 nm (BARTON, 1987), sendo, preferencialmente adsorvida, por poros com abertura próxima a 2,0 nm (WARHURST *et al.*, 1997).

### 3.9 Número de Iodo (NI)

O NI é um indicador relativo da porosidade de um CA, em que requer poros com abertura inferior a 1 nm para ser adsorvida. Esse indicador possibilita determinar a quantidade de iodo adsorvida em mg por g de CA, referente a microporosidade. (EL-HENDAWY *et al.*, 2001).



### 3.10 Ponto de Carga Zero (PCZ)

O PCZ é uma análise que determina a carga superficial do adsorvente e isso afeta na dissociação dos grupos funcionais nos sítios ativos da superfície do adsorvente. Essa técnica é importante para determinar o pH de carga zero, onde em soluções acima desse pH, a superfície será carregada negativamente ( $\text{OH}^-$ ) favorecendo a adsorção de compostos com cargas positivas. Por outro lado, em soluções abaixo do pH de carga zero, o adsorvente será carregado com cargas positivas ( $\text{H}^+$ ) e sua adsorção será de compostos com cargas negativas (DOLFINI, 2018).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização das Sementes de Tamarindo

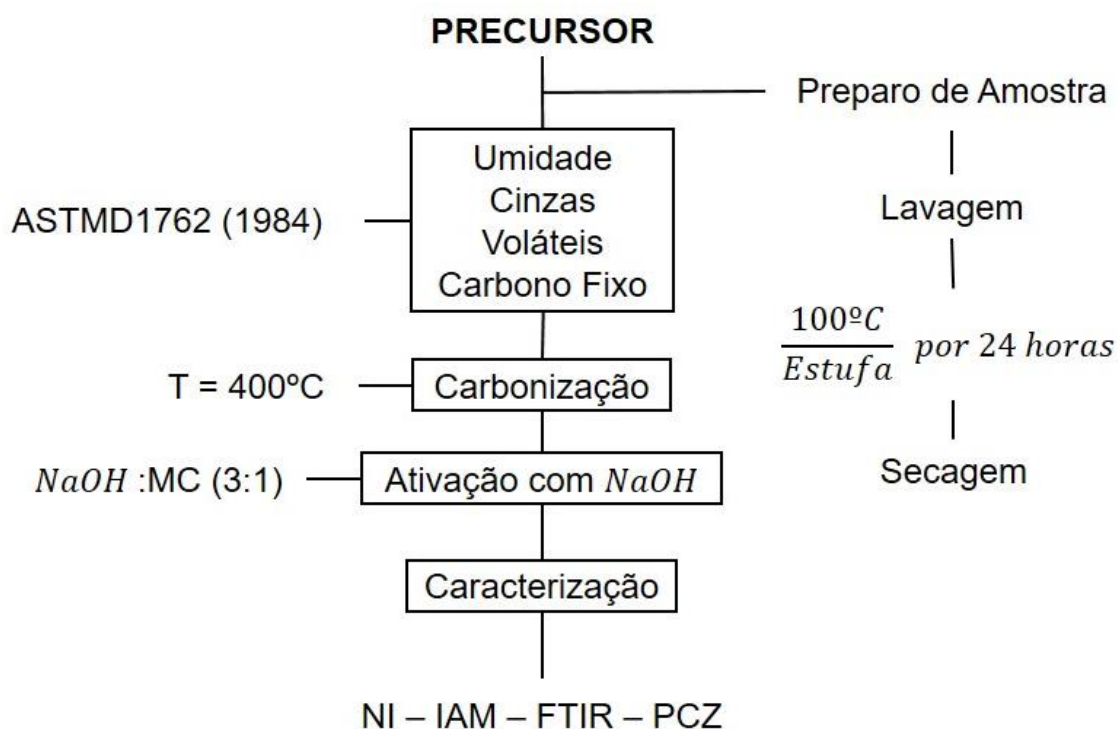
Neste trabalho, foram utilizadas ST adquiridas em um sítio localizado em Santa Fé do Sul, São Paulo, Brasil. Inicialmente, a amostra foi triturada em liquidificador de aço inox, e, foi realizada uma lavagem com água destilada, a fim de remover possíveis resíduos. Posteriormente, foram secas em estufa a 100 °C por 24 h, peneiradas e separadas granulometricamente (1,18 mm) e, em seguida, foram estocadas adequadamente para análises posteriores.

Os teores de umidade, material volátil, cinzas e carbono fixo das sementes de tamarindo foram determinados de acordo com ASTM D1762-84. As propriedades térmicas do precursor foram investigadas a partir de Análises Termogravimétricas (TGA), usando analisador termogravimétrico (modelo Shimadzu TGA-50) sob fluxo de Ar de 50 mL min<sup>-1</sup>. As amostras foram aquecidas a partir da temperatura ambiente a 800 °C com taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>.

### 4.2 Produção do Carvão Ativado

A produção de CA a partir das ST (CA – ST) foi realizada de acordo com as etapas apresentadas na Figura 5 utilizando NaOH como agente ativador.

Figura 5 – Produção de CA-ST.



Fonte: Autoria própria.

O CA – ST foi preparado em duas etapas, carbonização seguida por ativação química com NaOH. A etapa de carbonização foi realizada utilizando 6,0 g do material precursor, os quais foram colocados em um reator tubular de aço inoxidável com um volume de 180 cm<sup>3</sup> e tampas removíveis com orifícios para a entrada e saída de gases. O reator foi aquecido em um forno mufla (modelo Zezimaq FHMP), a 10 °C min<sup>-1</sup> a partir da temperatura ambiente até 400 °C, e sob fluxo de N<sub>2</sub> (100 mL min<sup>-1</sup>), o qual foi mantido por 2 h, resultando em um material carbonizado (MC). A etapa subsequente de ativação foi realizada utilizando uma proporção de impregnação de 3:1 (m/m) de NaOH:MC. Para cada fração de NaOH:MC foram adicionados 10,0 mL de água destilada sob agitação mecânica durante 2 h e depois colocados na estufa a 130 °C por 12 h. A amostra seca foi levada à mufla a 10 °C min<sup>-1</sup> a partir da temperatura ambiente até 750 °C, sob fluxo de N<sub>2</sub> (100 cm<sup>3</sup> min<sup>-1</sup>) durante 1,5 h. Após o resfriamento, o CA-ST resultante foi lavado com HCl (0,1 mol L<sup>-1</sup>) seguido por água destilada, até pH - 6,5, para a remoção dos resíduos do agente ativador e, em seguida, seco na estufa por 4 h à 100°C.

Os rendimentos dos materiais (MC e CA-ST) foram calculados a partir de análises gravimétricas, conforme a equação 1:

$$\text{rendimento (\%)} = \frac{m_f}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

onde  $m_f$  é massa seca de MC ou CA-ST obtida (g) e  $m_i$  é massa seca da semente de tamarindo *in natura*.

#### 4.3 Ponto de Carga Zero (PCZ)

Os valores de PCZ foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Regalbutto e Robles, (2004). Onze soluções foram preparadas a partir de 50 mg de CA-ST e 50 mL de água destilada, variando o pH de 2 a 12, ajustados com soluções de HCl (0,10 mol L<sup>-1</sup>) ou NaOH (0,10 mol L<sup>-1</sup>) para determinar o pH inicial em temperatura ambiente. Para cada ponto de pH, as amostras foram realizadas em triplicata. Após o ajuste de pH, as amostras foram deixadas sob agitação, por 24 h, em incubadora rotacional Marconi MA-420, na velocidade de 180 rpm, a 30 °C. O pH das soluções após agitação foi medido e o gráfico de pH<sub>final</sub> versus pH<sub>inicial</sub> foi plotado. O PCZ é atribuído ao ponto no qual o  $\Delta\text{pH} = 0$ .

#### 4.4 Número de Iodo (NI)

O NI foi determinado segundo a norma ASTM D4607-94. O método baseia-se na obtenção da quantidade em miligramas de iodo adsorvido cada 1,0 g de CA.

#### 4.5 Índice de Azul de Metileno (IAM)

O IAM foi determinado segunda as metodologias aplicadas por Mocelin (2007) e Moreno *et al.* (2005). Esse método é definido como a quantidade máxima de corante adsorvido em 1,0 g de adsorvente.

#### 4.6 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

As análises FTIR foram realizadas usando um espectrofotômetro Bomem MB-100. Cerca de 0,2mg da amostra foi misturada com KBr e prensada em pastilha. Os espectros de FTIR foram registrados entre 4000 e 667  $\text{cm}^{-1}$  na resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$ .

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização do Precursor

**Tabela 2** – Composição Centesimal da ST e Rendimento.

PROPRIEDADES	PORCENTAGEM (%)
CINZAS	1,9883 ± 0,0156
UMIDADE	6,5951 ± 0,2294
VOLÁTEIS	97,9690 ± 0,0155
CARBONO FIXO	0,0427 ± 0,0002
RENDIMENTO	12,8675 ± 0,1394

**Fonte:** Autoria própria.

Os teores de umidade e cinzas obtidos para a ST foram baixos, favorecendo a utilização da ST para a produção do CA. Segundo Acharya *et al.* (2009) as cinzas para a produção de CA não é necessária, sendo composta principalmente por minerais; já o baixo teor de umidade possibilita a melhor estabilidade química e física do CA (SILVA, 2014). Outro ponto favorável é o alto teor de compostos voláteis que indica um maior número de compostos orgânicos, confirmando o baixo teor de cinzas, mostrando que são inversamente proporcionais (PEREIRO, 2016).

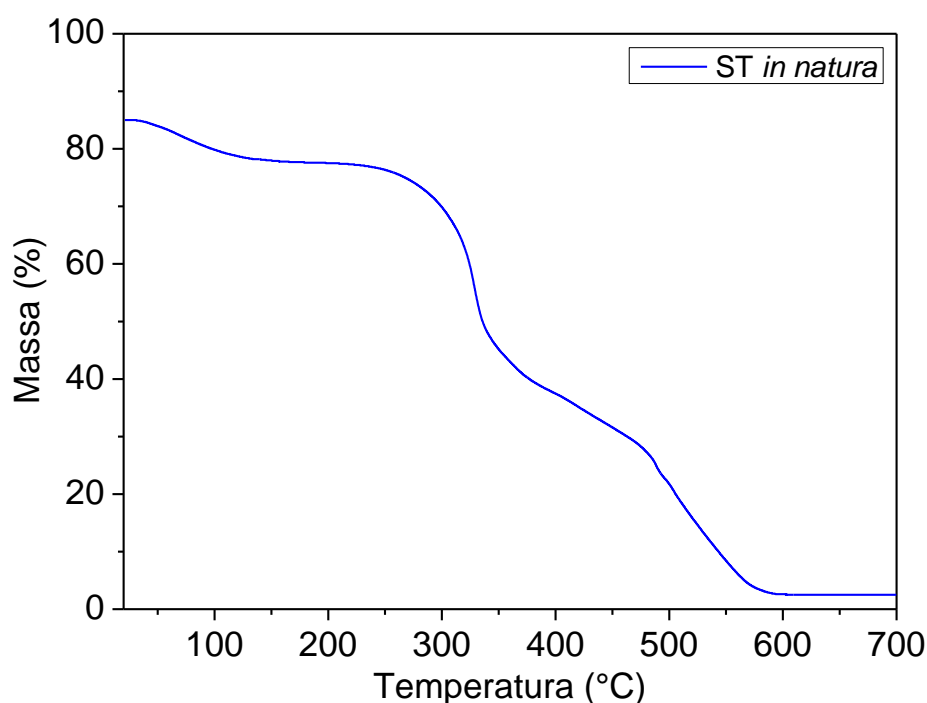
O material precursor apresentou características favoráveis para a produção de CA, os valores da composição centesimal e rendimento são demonstrados no Tabela 2.

Espera-se que o precursor tenha um alto teor de carbono fixo, para que haja um aumento da área específica e de porosidade. Entretanto, a ST apresentou um baixo teor de carbono. Froehlich e Moura (2014) relatam que um dos fatores que podem causar a diminuição do carbono fixo é quantidade de lignina, pois ela contribui em grande parte para a formação de carbono fixo, ou seja, quanto maior o teor de lignina maior será o teor de carbono fixo e para a ST este teor é muito baixo. Segundo Syred *et al.* (2006) quanto maior a temperatura de carbonização, menor a quantidade

de sólido produzido, maior o aumento da produção de gases e um aumento na concentração de carbono fixo na fração sólida, assim, mesmo com o teor baixo de carbono fixo, o tamarindo pode ser um bom precursor para a produção de CA.

A ST também foi caracterizada por TGA para avaliar o seu comportamento térmico. Essa técnica contribui para o estudo da estabilidade térmica e o padrão de decomposição do amostra, sendo precisa e simples, gerando a termograma apresentado na Figura 6.

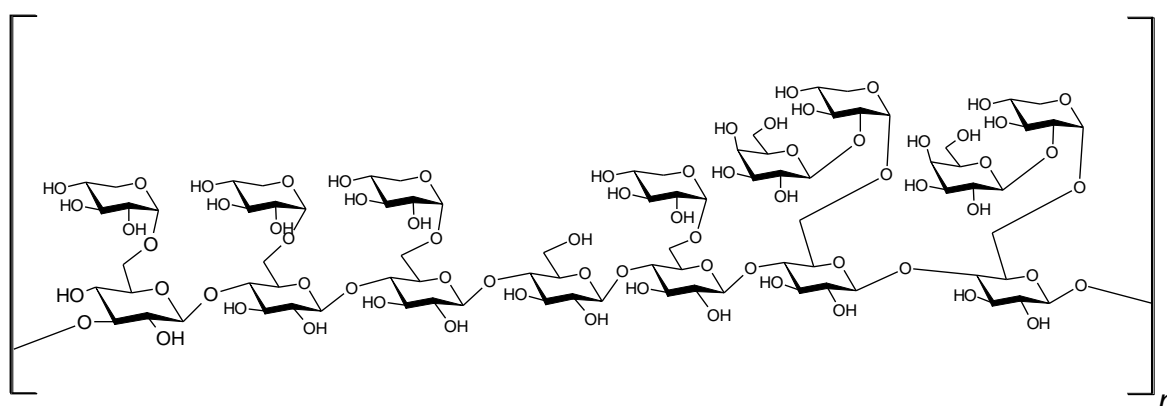
**Figura 6** – Análise Termogravimétrica da ST *in natura*.



**Fonte:** Autoria própria

No TGA da ST *in natura* são apresentados duas perdas de massa. A primeira mudança de massa é observada até 150°C, referente à perda de umidade, que segundo Alpizar-Reyes *et al.* (2017) está associado a natureza hidrofílica dos grupos funcionais presentes nos xiloglucanos, estrutura apresentada na Figura 7, que por sua vez se refere a um polissacarídeo presente na ST. A segunda variação de massa entre as temperaturas de 275°C e 600°C, pode ser atribuída a decomposição térmica do polissacarídeo, confirmando o alto valor de voláteis na ST (CERQUEIRA *et al.* 2011).

Figura 7 – Xiloglucano.



Fonte: Autoria Própria.

## 5.2 Caracterização do Adsorvente

### 5.2.1 Índice de Azul de Metileno (IAM)

Na tabela 3 são apresentados os valores da adsorção do AM para o CA-ST, ST *in natura* e o CA-Comercial. O CA-ST apresentou uma maior capacidade adsortiva do corante AM comparado ao CA-Comercial e a ST *in natura*, confirmando a eficiência da ativação.

Tabela 3 – IAM e área específica do CA-ST, ST *in natura* e CA-Comercial.

AMOSTRA	IAM (mg g <sup>-1</sup> )	S <sub>AM</sub> (m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )
ST <i>in natura</i>	5,4498 ± 0,0783	10,5180 ± 0,1512
CA-ST	286,1972 ± 3,9885	552,3607 ± 7,6976
CA-Comercial	115,1689 ± 1,1869	222,2760 ± 2,2908

Fonte: Autoria própria.

Segundo Borges *et al.* (2016), podemos estimar a área específica do CA por meio do IAM, a partir da equação 2. O CA-ST apresentou uma grande área específica,



superior ao CA-ST, confirmando mais uma vez a eficiência da ativação química realizada.

$$S_{AM} = S_{AM}^0 \times q_m \quad (2)$$

Em que  $S_{AM}$  ( $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ ) é a área do CA acessível ao azul de metileno,  $S_{AM}^0$  é área superficial do azul de metileno ( $1,93 \text{ m}^2 \text{mg}^{-1}$ ) e  $q_m$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) é a capacidade máxima de adsorção do azul de metileno no CA.

### 5.2.2 Número de Iodo (NI)

A Tabela 4 apresenta os valores de NI correspondentes ao CA-ST, ST *in natura* e CA-Comercial. Somente o CA-ST mostrou-se superior ao mínimo exigido pela norma EB-2133 (ABNT, 1991),  $600 \text{ mg g}^{-1}$  e também apresentou uma maior capacidade de adsorção com moléculas pequenas em relação aos valores obtidos para o IAM, resultando em um maior número de microporos.

**Tabela 4 – NI do CA-ST, ST *in natura* e CA-Comercial.**

<b>AMOSTRA</b>	<b>NI (<math>\text{mg g}^{-1}</math>)</b>
ST <i>in natura</i>	$234,736 \pm 12,035$
CA-ST	$989,645 \pm 22,782$
CA-Comercial	$482,085 \pm 15,022$

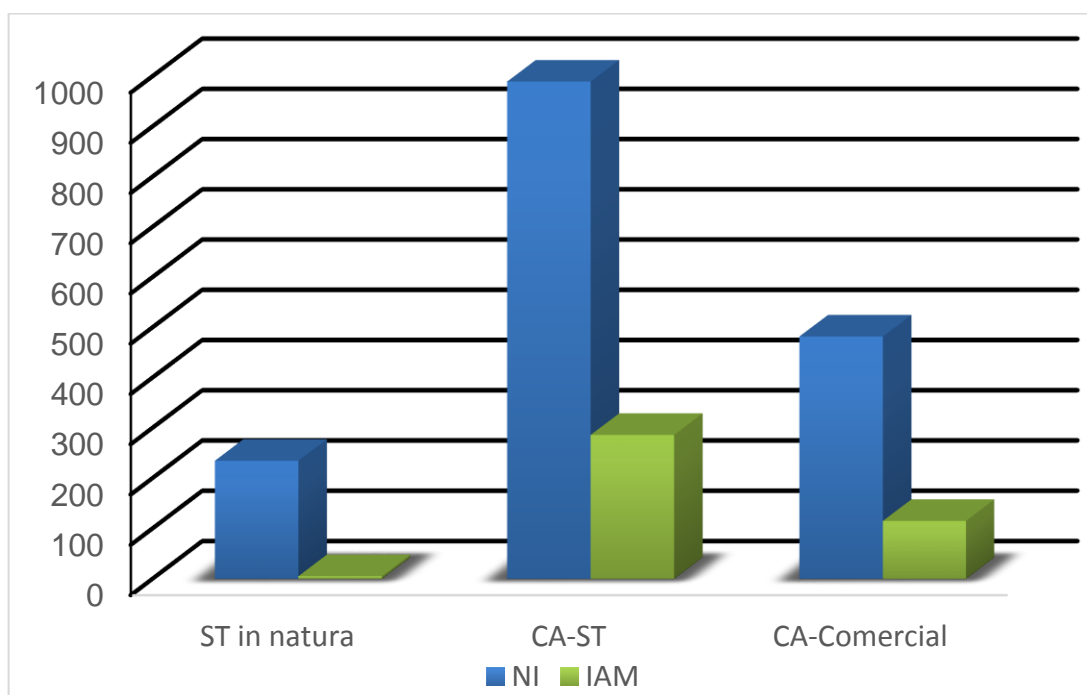
**Fonte:** Autoria própria.

Segundo Andas e Satar (2018), o CA-ST possui essa característica pois durante a carbonização há uma grande eliminação de matéria volátil, o que favorece formação de uma estrutura muito mais porosa quando em contato com o agente químico para ativação. Isso foi perceptível quando os autores produziram um CA com  $\text{ZnCl}_2$  em duas etapas (primeiro carbonização a  $400^\circ\text{C}$  e depois ativação a  $750^\circ\text{C}$ ) e os resultados foram satisfatórios quando comparado ao processo de uma única etapa,

pois houve uma maior degradação do material precursor e menor eliminação de matéria volátil. O NI obtido por Andas e Satar (2018),  $987,94 \text{ mg g}^{-1}$ , é similar ao obtido neste trabalho,  $989,645 \text{ mg g}^{-1}$ , indicando uma maior eliminação de material volátil e consequentemente, o desenvolvimento dos poros.

Na Figura 8 foram correlacionados os dados obtidos do NI e IAM para a ST *in natura*, o CA-ST e o CA-Comercial. É possível observar que o material precursor apresenta característica microporosa e que após a ativação química o material adsorvente apresenta o NI e IAM maiores do que ST *in natura*, mostrando a eficiência da ativação. Podemos enfatizar que o CA-ST obtido apresenta característica em relação à porosidade (NI e IAM) superior ao CA-Comercial, indicando a possibilidade de aplicação do CA-ST como material adsorvente.

**Figura 8** – Gráfico de adsorção do NI e IAM.



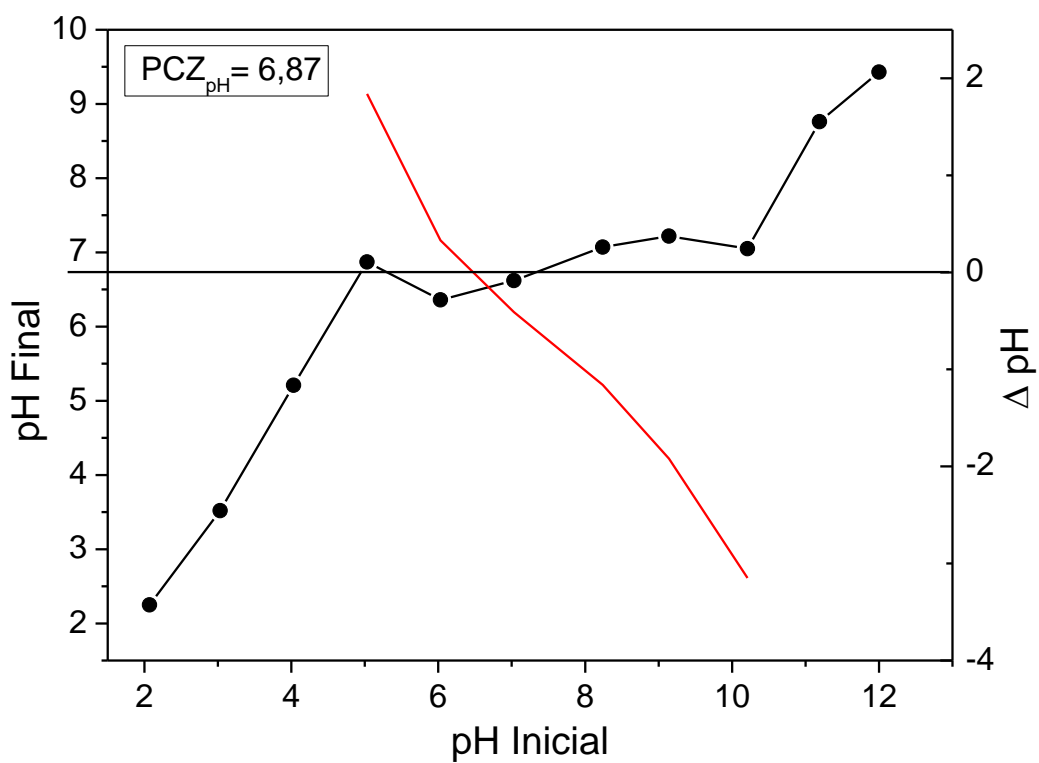
**Fonte:** Autoria própria.

### 5.2.3 Ponto de Carga Zero (PCZ)

O PCZ para o CA-ST para definir qual o melhor pH de adsorção, apresentado na Figura 9. De acordo com os resultados obtidos, o PCZ do CA-ST é 6,87. Este valor é semelhante ao encontrado por Pezoti *et al.* (2016) no estudo de remoção de

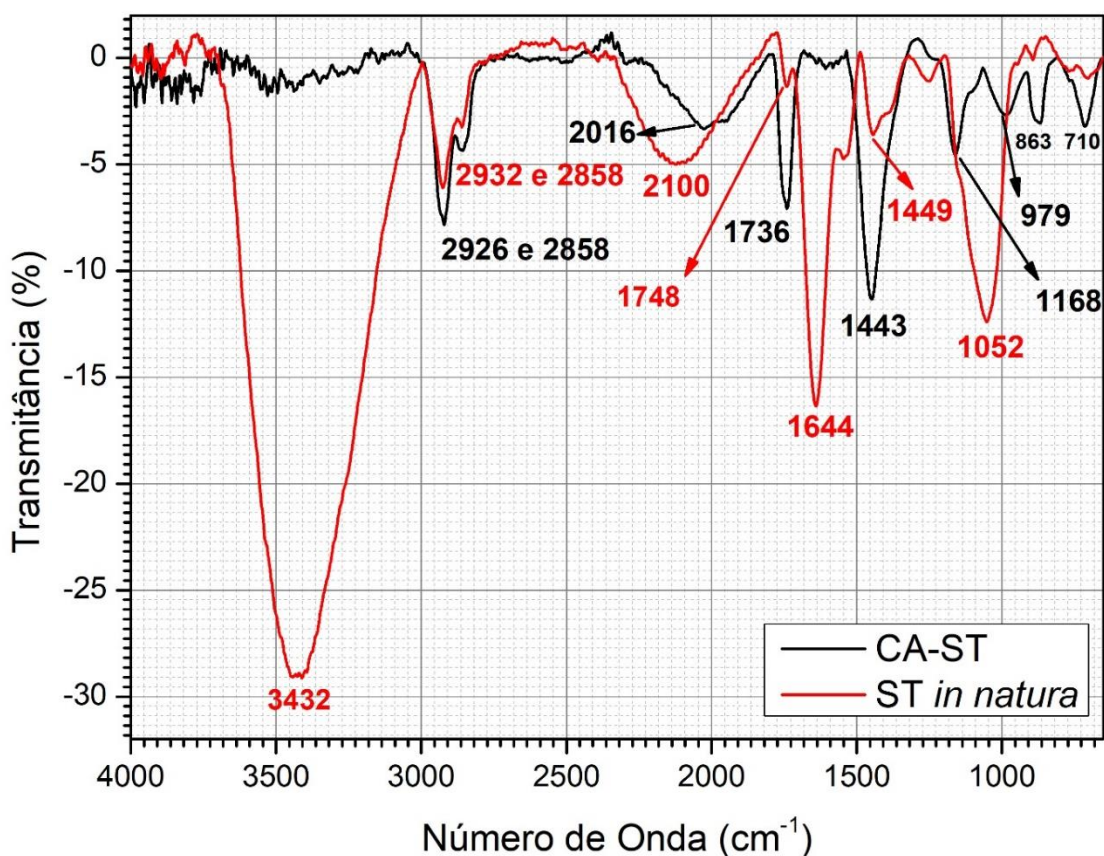
amoxicilina com carvão ativado microporoso produzido a partir de sementes de goiaba ativado com NaOH (3:1) e obtiveram resultados de PCZ de 6,74.

**Figura 9** – Gráfico do pH final e  $\Delta$ pH versus pH inicial para o CA-ST.



**Fonte:** Autoria própria.

## 5.2.4 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Figura 10 – Espectro de FTIR da amostra de CA-ST e ST *in natura*.

Fonte: Autoria Própria.

A Figura 10 mostra o espectro de infravermelho, em absorvância, da amostra de ST *in natura* e CA-ST.

Por meio da análise do espectro de FTIR, apresentado na Figura 6, ao observar as bandas para a ST *in natura*, percebe-se que elas estão em concordância com Andas e Satar (2018), sendo assim atribuídas: em 3432 cm<sup>-1</sup> relacionado com a vibração de alongamento O – H de álcool, fenol ou ácido carboxílico; em 2932 e 2858 cm<sup>-1</sup> referente ao estiramento C – H de hidrocarbonetos; em 1644 cm<sup>-1</sup> atribuída para C=C de anel aromático; em 1052 cm<sup>-1</sup> respectivo ao estiramento C – O; uma banda fraca em 1748 cm<sup>-1</sup> atribuída à C=O de ácido carboxílico; na região de 2100 cm<sup>-1</sup> correspondente a um padrão de aromáticos e em 1449 cm<sup>-1</sup> atribuído ao estiramento CH<sub>2</sub>.

No espectro FTIR do CA-ST não se observa a banda referente ao estiramento O-H, confirmando que a ativação básica retirou o H<sup>+</sup>. Foram observadas as bandas

em: 2926 e 2858  $\text{cm}^{-1}$  correspondente ao estiramento de C-H de alcanos; na região de 2016  $\text{cm}^{-1}$  atribuídas ao anel aromático; a banda em 1736  $\text{cm}^{-1}$  característica do estiramento C = O apresentou-se com intensidade forte; as bandas em 1168 e 979  $\text{cm}^{-1}$  foram atribuídas ao estiramento C – O, sendo característico a formação de duas bandas, uma mais forte e outra mais larga do que a outra; também observa-se a C=C na região de 1443  $\text{cm}^{-1}$  e na região de 710  $\text{cm}^{-1}$  atribuída a alcanos de cadeia longa.

Outra observação é que após a carbonização e ativação com um agente básico a banda de OH está ausente para o espectro do CA-ST, sugerindo grupos carboxilato ( $\text{COO}^-$ ).

#### 5.2.5 Método de Boehm

**Tabela 5** – Quantidade de grupos de funcionais.

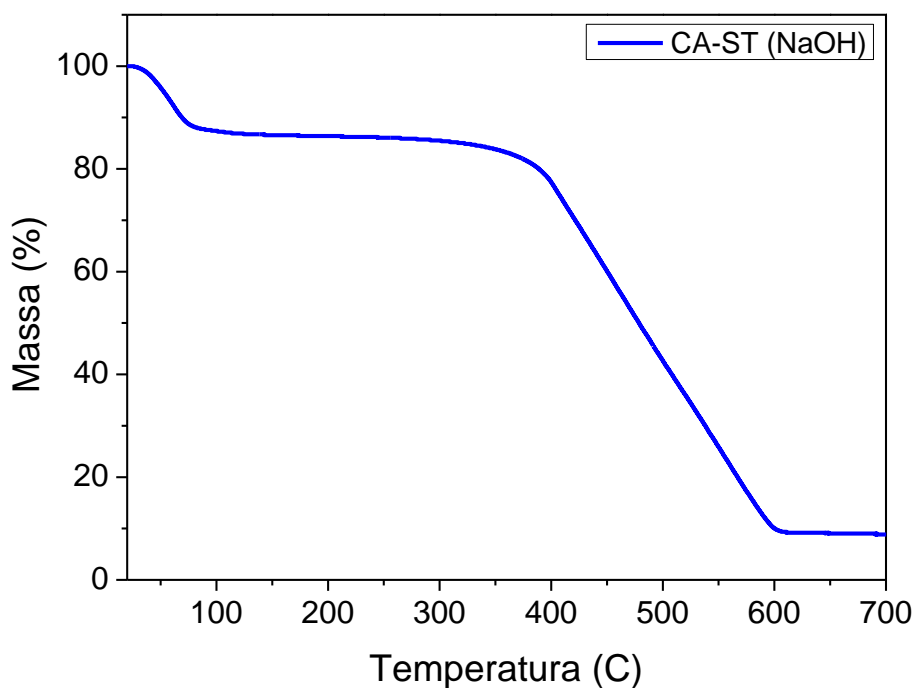
<b>Grupos Funcionais</b>	<b>Eq. De Grupos (<math>\text{mmol g}^{-1}</math>)</b>	<b>%</b>
<b>GRUPOS BÁSICOS</b>	2,550 $\pm$ 0,110	86,73
<b>FENÓLICOS</b>	0,110 $\pm$ 0,056	3,76
<b>LACTÔNICOS</b>	0,001 $\pm$ 0,056	0,04
<b>ÁCIDOS CARBOXÍLICOS</b>	0,278 $\pm$ 0,056	9,47

**Fonte:** Autoria própria.

A partir do método de Boehm podemos confirmar a característica da superfície do CA-ST ser básica, por meio do íon carboxilato apresentado no FTIR, pois é notável a maior porcentagem de grupos básicos, 86,73%, um valor muito maior que para grupos ácidos.

### 5.2.6 Análise Termogravimétrica (TG)

**Figura 11** – Análise Termogravimétrica do CA-ST.



**Fonte:** Autoria própria.

O TG da amostra de CA-ST, Figura 11, demonstra duas perdas de massa. A primeira atribui à umidade presente na amostra. A segunda perda ocorre somente aos 400°C, se tratando da decomposição do material adsorvente. Este alto valor para a degradação nos indica que o CA produzido pode ser aplicado a altas temperaturas, mostrando eficiência do material produzido.

## 6 CONCLUSÃO

As análises mostraram que o carvão produzido a partir da semente de tamarindo através da ativação com NaOH, caracterizado neste trabalho, pode ser utilizado como um material adsorvente. O resultado possibilita um destino para esse resíduo, uma vez que seriam descartados no meio ambiente gerando um aumento no impacto ambiental. Outro ponto a ressaltar é a forma como este trabalho contribui, pois não existe muitos estudos na produção de carvão ativado utilizando como precursor a semente de tamarindo.

Com base no alto Número de Iodo, observou-se que o carvão obtido apresenta um elevado volume de microporos e alta eficiência da ativação quando comparado ao carvão comercial e com a semente de tamarindo *in natura*.

Para o Índice de Azul de Metileno, o carvão ativado a partir da semente de tamarindo também apresenta resultados satisfatórios para a mesoporosidade, com capacidade em adsorver moléculas médias como o corante azul de metileno, em relação ao carvão comercial. Quando comparado com a semente de tamarindo *in natura*, nota-se que um grande aumento da mesoporosidade após a ativação, tornando se efetiva.

O ponto de Carga Zero mostrara que o material possui sobre sua superfície grupos funcionais de características básicas e indicando o melhor pH para aplicação. Os grupos funcionais obtidos a partir do FTIR é confirmado pelo método de Boehm, indicando características básicas após a ativação.

Por fim, estudos ainda serão realizados como a comparação com um ativante químico ácido, ácido fosfórico, uma vez que o grupo de pesquisa já realiza esse tipo de ativação com sementes de maracujá e foram obtidos resultados favoráveis. Assim, poderemos comparar os ativantes entre sementes de tamarindo e sementes de maracujá e aplicar como material adsorvente para a remoção de amoxicilina.

## REFERÊNCIAS

- ACHARYA, J.; SAHU, J. N.; MOHANTY, C. R.; MEIKAP, B. C. Removal of lead (II) from wastewater by activated carbon developed from Tamarind wood by zinc chloride activation. **Chemical Engineering Journal**, v. 149, n. 1-3, p. 249-262, 2009.
- AHMADPOUR, A.; DO, D. D. The preparation of activated carbon from macadamia nutshell by chemical activation. **Carbon**, v. 35, n. 12, p. 1723-1732, 1997.
- AI BAHRI, M.; CALVO, L.; GILARRANZ, M. A.; RODRIGUEZ, J. J.; EPRON, F. Activated carbon supported metal catalysts for reduction of nitrate in water with high selectivity towards N<sub>2</sub>. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 138, p. 141-148, 2013.
- AI BAHRI, M.; CALVO, L.; LEMUS, J.; GILARRANZ, M. A.; PALOMAR, J.; RODRIGUEZ, J. J. Mechanistic understanding of the behavior of diuron in the adsorption from water onto activated carbon. **Chemical engineering journal**, v. 198, p. 346-354, 2012.
- ALPIZAR-REYES, E. CARRILLO-NAVAS, H., GALLARDO-RIVERA, R., VARELA-GUERRERO, V., ALVAREZ-RAMIREZ, J., & PÉREZ-ALONSO, C. Functional properties and physicochemical characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) seed mucilage powder as a novel hydrocolloid. **Journal of Food Engineering**, v. 209, p. 68-75, 2017.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1762-84**: standard test method for chemical analysis of wood charcoal. West Conshohocken, 1984.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D4607-94**: Standard Test Method for Determination of Iodine Number of Activated Carbon. West Conshohocken, 1984.
- AMIN, N. K. Removal of direct blue-106 dye from aqueous solution using new activated carbons developed from pomegranate peel: adsorption equilibrium and kinetics. **Journal of hazardous materials**, v. 165, n. 1-3, p. 52-62, 2009.
- AMIN, N. K. Removal of reactive dye from aqueous solutions by adsorption onto activated carbons prepared from sugarcane bagasse pith. **Desalination**, v. 223, n. 1-3, p. 152-161, 2008.
- ANDAS, J.; SATAR, N. A. A. Synthesis and characterization of tamarind seed activated carbon using different types of activating agents: a comparison study. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 9, p. 17611-17617, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT EB – 2133**: Carvão ativado pulverizado para tratamento de água. Rio de Janeiro, 1991.



BARTON, S. S. The adsorption of methylene blue by active carbon. **Carbon**, v. 25, n. 3, p. 343-350, 1987.

BORGES, W. M.; ARANTES, A. C. C.; DE CASTRO, G. M. M.; BIANCHI, M. L.; NOBRE, J. R. C.; DE RESENDE, E. C.; CASTRO, J. P.; GUERREIRO, M. C. Produção, caracterização e avaliação da capacidade adsorptiva de carvões ativados em forma de briquete. **Revista Matéria**, v. 21, n. 4, p. 930-942, 2016.

CERQUEIRA, M. A. SOUZA, B. W. S., SIMÕES, J., TEIXEIRA, J. A., DOMINGUES, M. R. M., COIMBRA, M. A., & VICENTE, A. A. Structural and thermal characterization of galactomannans from non-conventional sources. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 1, p. 179-185, 2011.

DE SALES, P. F.; BERTOLI, A. C.; PINTO, F. M.; MAGRIOTIS, Z. M. Produção, caracterização e aplicação do carvão ativado obtido a partir do sabugo de milho: a busca pelo reaproveitamento de um resíduo agroindustrial. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 4, p. 1174-1188, 2015.

DOLFINI, N. **Avaliação da remoção de amoxicilina por adsorção em carvão ativado de origem mineral**. 2018. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2018.

EL-HENDAWY, A.-N. A.; SAMRA, S.E.; GIRGIS, B.S. Adsorption characteristics of activated carbons obtained from corncobs. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. Vol. 180, p. 209–221, 2001.

FROEHLICH, P. L.; MOURA, A. Carvão vegetal: propriedades físico-químicas e principais aplicações. **Revista Tecnologia e Tendências**, v. 9, n. 1, p. 13-32, 2017.

GUIMARÃES, I. S. **Oxidação de carvões ativados de endocarpo de coco da Baía como soluções de HNO<sub>3</sub> e uma investigação sobre o método de Boehm**. 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

JUNIOR, O. F. C. **Produção de carvão ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas da região amazônica**. 2010. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

KADER, M. A.; ISLAM, M. R.; PARVEEN, M.; HANIU, H.; TAKAI, K. Pyrolysis decomposition of tamarind seed for alternative fuel. **Bioresource technology**, v. 149, p. 1-7, 2013.

MANGUEIRA, E. S. V. **Produção de carvão ativado a partir de endocarpo de coco da baía (Cocos nucifera) aplicado ao processo de adsorção do herbicida metribuzin**. 2014. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

MOCELIN, C.; **Pirólise de lodo de esgoto sanitário: produção de adsorvente e óleos combustíveis**. 2007. 113f. Dissertação (Mestrado em engenharia) -

Departamento de pesquisa e pós-graduação, Programa de pós-graduação em engenharia mecânica e de materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

MORAIS, E. D. **Produção do carvão ativado a partir do mesocarpo do coco-da-baía (*cocos nucifera*) utilizando  $H_3PO_4$ ,  $CH_3COONa$  e  $KOH$  como ativantes.** 2014. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

MORENO, R. M.; JUNIOR, E.C. A.; FRANCO, T. T. Predição da porosidade e capacidade de adsorção em carvões ativados utilizando iodo e azul de metileno. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 6., 2005, Campinas. **Anais [...]** Campinas: UNICAMP, 2005.

NOR, N. M.; LAU, L. C.; LEE, K. T. Synthesis of activated carbon from lignocellulosic biomass and its applications in air pollution control—a review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 1, n. 4, p. 658-666, 2013.

PEREIRA, R. G.; VELOSO, C. M.; DA SILVA, N. M.; SOUSA, L. F.; BONOMO, R. C. F.; DE SOUSA, A. O.; SOUZA, M. O. G.; FONTAN, R. C. I. Preparation of activated carbons from cocoa shells and siriguela seeds using  $H_3PO_4$  and  $ZnCl_2$  as activating agents for BSA and  $\alpha$ -lactalbumin adsorption. **Fuel Processing Technology**, v. 126, p. 476-486, 2014.

PEREIRO, R. J. S. **Carvões ativados como catalisadores em reações de produção de aromas.** 2016. 98 f. Tese de Doutorado. Universidade Nova de Lisboa – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Caparica, 2016.

PEZOTI, O.; CAZETTA, A. L.; BEDIN, K. C.; SOUZA, L. S.; MARTINS, A. C.; SILVA, T. L.; JÚNIOR, O. O. S.; VISENTAINER, J. V. ALMEIDA, V. C. NaOH-activated carbon of high surface area produced from guava seeds as a high-efficiency adsorbent for amoxicillin removal: kinetic, isotherm and thermodynamic studies. **Chemical Engineering Journal**, v. 288, p. 778-788, 2016.

PEZOTI, O.; CAZETTA, A. L.; SOUZA, K. C.; MARTINS, A. C.; SILVA, T. L.; ALMEIDA, V. C. Adsorption studies of methylene blue onto  $ZnCl_2$ -activated carbon produced from buriti shells (*Mauritia flexuosa* L.). **Journal of industrial and engineering chemistry**, v. 20, n. 6, p. 4401-4407, 2014.

RAMESH, T.; RAJALAKSHMI, N.; DHATHATHREYAN, K. S. Activated carbons derived from tamarind seeds for hydrogen storage. **Journal of Energy Storage**, v. 4, p. 89-95, 2015.

REGALBUTO, J. R., ROBLES, J. The engineering of Pt/Carbon Catalyst Preparation. 14 f. **University of Illinois at Chicago**, 2004.

REIS, A. R.; SILVA, N. C.; NEVES, U. M. Produção de carvão ativado a partir de casca de arroz. **Desafios**, v. 2, p. 89-103, 2015.

- REIS, P. M. C. L. **Extração e avaliação do potencial antioxidante dos extratos obtidos da semente do tamarindo doce (*Tamarindus indica*)**. 2013. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- RODRIGUES, D. C. **Elaboração de filmes de emulsão a partir de galactomanano de algaroba e xiloglucano de tamarindo**. 2016. 134f. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- SAHU, J. N.; ACHARYA, J.; MEIKAP, B. C. Optimization of production conditions for activated carbons from Tamarind wood by zinc chloride using response surface methodology. **Bioresource technology**, v. 101, n. 6, p. 1974-1982, 2010.
- SATYA SAI, P. M.; KRISHNAIAH, K. Development of the pore-size distribution in activated carbon produced from coconut shell char in a fluidized-bed reactor. **Industrial & engineering chemistry research**, v. 44, n. 1, p. 51-60, 2005.
- SILVA, L. A. **Avaliação catalítica de ferro sobre carvão ativado oriundo da casca de amendoim na degradação do azul de metileno**. 2014. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.
- SILVA, M. V. R. **Adsorção de cromo hexavalente por carvão ativado granulado comercial na presença de surfactante aniônico (LAS)**. 2012. 80f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.
- SOUZA, D. S. **Caracterização e avaliação da capacidade antioxidante da polpa liofilizada enriquecida com extrato aquoso da semente de tamarindo (*Tamarindus indica*)**. 2015. 180 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Universidade de Campinas, Campinas, 2015.
- SYRED, C.; GRIFFITHS, A.J.; SYRED, N.; BEEDIE, D.; JAMES, D. A clean, efficient system for producing Charcoal, Heat and Power (CHaP). **Fuel**, v. 85, n. 10-11, p. 1566-1578, 2006.
- TRIL, U., LÓPEZ, J. F., ÁLVAREZ, J. Á. P., MARTOS, M. V. (2014). Chemical, physicochemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of rich-fibre powder extract obtained from tamarind (*Tamarindus indica* L.). **Industrial Crops and Products**, v. 55, p.155-162, 2014.
- TSAI, W. T.; CHANG, C. Y.; LEE, S. L. Preparation and characterization of activated carbons from corn cob. **Carbon**, v. 35, n. 8, p. 1198-1200, 1997.
- TSENG, R. L. Mesopore control of high surface area NaOH-activated carbon. **Journal of colloid and interface science**, v. 303, n. 2, p. 494-502, 2006.
- WARHURST, A. M.; McCONNACHIE, G. L.; POLLARD, S. J. T. Characterization and applications of activated carbon produced from moringa oleifera seed husk by syngle-step steam pirolysis. **Water Research**, v. 31, n. 4, p. 759-766, 1997.

XU, J.; CHEN, L.; QU, H.; JIAO, Y.; XIE, J.; XING, G. Preparation and characterization of activated carbon from reedy grass leaves by chemical activation with  $H_3PO_4$ . **Applied Surface Science**, v. 320, p. 674-680, 2014.

ZHU, G. Z.; DENG, X. L.; HOU, M.; SUN, K.; ZHANG, Y. P.; LI, P.; LIANG, F. M. Comparative study on characterization and adsorption properties of activated carbons by phosphoric acid activation from corncob and its acid and alkaline hydrolysis residues. **Fuel Processing Technology**, v. 144, p. 255-261, 2016.