



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAPÁ-IFAP  
CÂMPUS LARANJAL DO JARI  
CURSO SUPERIOR EM TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

**SAMANTA ALHO TRINDADE**

**CARVÃO ATIVADO A PARTIR DA CASCA DA CASTANHA DO BRASIL  
(*Bertholletia excelsa L.*) USADO NA ADSORÇÃO DE ALUMÍNIO EM ÁGUAS DE  
POÇOS SEMI-ARTESIANOS NO MUNICÍPIO DE LARANJAL DO JARI**

Laranjal do Jari

2018

**SAMANTA ALHO TRINDADE**

**CARVÃO ATIVADO A PARTIR DA CASCA DA CASTANHA DO BRASIL  
(*Bertholletia excelsa L.*) USADO NA ADSORÇÃO DE ALUMÍNIO EM ÁGUAS DE  
POÇOS SEMI-ARTESIANOS NO MUNICÍPIO DE LARANJAL DO JARI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnólogo em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Laranjal do Jari, como requisito para obtenção do Título de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

Orientadora: Prof. Me. Rita de Cássia Chaves

Laranjal do Jari

2018

## **SAMANTA ALHO TRINDADE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Tecnólogo em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Laranjal do Jari, como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

---

Samanta Alho Trindade

Data de aprovação: Laranjal do Jari/AP, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

## **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Me. Rita, de Cássia Chaves

**Orientadora** - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Laranjal do Jari

---

Prof. Esp. Jamille Almeida Cardoso

**Membro da banca examinadora** - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Laranjal do Jari

---

Prof. Esp. Pâmela Rossi dos Reis

**Membro da banca examinadora** - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amapá, Campus Laranjal do Jari

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar sem dúvidas a Jeová Deus por ter me proporcionado a oportunidade de ter vida e saúde para conseguir concluir esse tão sonhado curso, só tenho que agradecer a força que Ele sempre me concedeu, as lutas e batalhas foram muitas, o cansaço as vezes me deixava sem forças para continuar, quando pensei em desistir Ele estava ao meu lado para me reerguer.

A minha família em especial aos meus pais Sebastião Santana e Maria das Graças, por todo incentivo, amor e apoio durante esses três anos, é por vocês que busco alcançar minhas metas e objetivos, quero contribuir com um futuro melhor para vocês, que todas aquelas noites sem dormir que passaram trabalhando para nos proporcionar o melhor, não foram em vão. Aos meus irmãos Juliana Trindade e Jonas Ferreira que sempre acreditaram no meu potencial, aos meus sobrinhos que puderam entender que nem sempre a tia poderia dá atenção como gostaria.

A todos os meus parentes que acompanharam meus esforços e torceram por mim, meus tios, primos, em especial meu primo Mateus Maia que caminhou comigo nesse mesmo sonho, além de primos, companheiro de estudos, obrigada por todos os incentivos e apoios.

Quero agradecer aos meus verdadeiros amigos que estiveram perto de mim nessa trajetória em Especial ao meu amigo Max Fernandes que sempre acreditou no meu potencial, esteve ao meu lado quando eu mais precisei, me deu suporte e atenção quando eu necessitei, com suas palavras sábias que sempre me animavam. A minha amiga Deysiane Serrão que a cada conquista na minha vida esteve ao meu lado me dando forças, obrigada pelo orgulho que sente de mim, isso me incentiva a sempre dá o meu melhor em tudo que me proponho a fazer.

A empresa Jari Celulose em nome do gerente de PDP Ricardo Kanno que me cedeu o laboratório de química para produzir e fazer todas as análises dos carvões, ao meu coordenador Acácio Nariyoshi por todo apoio e incentivo, a todos os supervisores que me deram suporte necessário para realização da pesquisa, em especial a minha supervisora Eunice Viana que me auxiliou nos horários de trabalho para conciliar fazer minhas atividades e pesquisas.

Quero agradecer a todos meus amigos do Laboratório Central, que são muitos para citar nomes, mas cada um sabe o quanto são importantes para mim, obrigada por todo apoio e carinho, cada um contribuiu da sua forma para ajudar. A meu amigo Alexandre Leite que esteve ao meu lado me ajudando nas análises, que acreditou na minha ideia e potencial, Deus sempre põe pessoas especiais na nossa vida e sei que o senhor é uma delas.

A minha orientadora Rita Chaves por ter aceitado ser orientadora desse trabalho.

Ao Instituto Federal, em nome de todos os professores que passaram pela minha vida acadêmica durante esses três anos, obrigada de coração por todo conhecimento e paciência, suas experiências de vida me fizeram acreditar que toda luta existe um preço, porém uma vitória.

Aos meus amigos que conquistei nessa caminhada, cada um com suas particularidades, aprendemos e crescemos juntos, vamos defender aquilo que acreditamos e aprendermos, só que agora como Gestores Ambientais. Desejo sucesso a cada um de vocês, essa é apenas uma conquista das muitas que virão.

Que todos os nossos esforços estejam sempre focados no desafio à impossibilidade. Todas as grandes conquistas humanas vieram daquilo que parecia impossível (Charles Chaplin).

## RESUMO

Produziu-se carvão ativado a partir da massa residual da casca da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa L.*) com objetivo de usá-lo como adsorvente na redução do alumínio presente em água de poços semi-artesianos. A massa residual utilizada neste processo de produção de carvão, a casca da castanha do Brasil foi adquirida na COMAJA fábrica de castanha localizada no município de Laranjal do Jari-AP, foi coletado 5 Kg de cascas, essa massa residual foi levada para o Laboratório da Jari Celulose S.A empresa parceira. Foi feito a segregação desse material, após limpas, secas e pesadas as cascas foram levadas para forno mufla a uma temperatura de  $600 \pm 1$  °C por 2 horas para sua carbonização em seguida levadas para uma segunda mufla a  $800 \pm 1$  °C por 1 hora para o processo de ativação. Produziu-se três diferentes carvões ativados (CAs) com intuito de identificar qual seria o mais eficiente no quesito adsorção. Os CAs foram separados da seguinte forma: carvão ativado fisicamente (CAF) carvão ativado quimicamente em solução ativante com a concentração de 40g/L (CAQ40) carvão ativado quimicamente em solução ativante 80g/L (CAQ80), realizou-se uma caracterização por meio das análises de cinza, pH e granulometria, visto que se usou duas peneiras sendo uma de 20 mesh e a outra 60 mesh para os testes. Após a produção dos CAs foram feitos os ensaios de adsorção pelo método experimental, em seguida realizadas as análises de alumínio no espectrofotômetro DR3900, o CA que mais teve eficiência de remoção chegando a atingir 90% foi o CAF com granulometria de 60 mesh, com esses resultados observou-se que o pH e os tamanhos das partículas do CAs influenciam no potencial de remoção do metal alumínio, resultado bem relevante visto que o CAF não leva nenhuma adição de produto químico, o que reduz o custo de produção, tornando-o mais acessível a populações de baixa renda.

**Palavras-Chave:** Metais pesados. Toxicidade. Tratamento de água. Adsorventes.

## ABSTRACT

Activated charcoal was produced from the residual mass of the Brazil nut bark (*Bertholletia excelsa L.*) with the aim of using it as an adsorbent in the reduction of aluminum present in water from semi-artesian wells. The residual mass used in this process of production of charcoal, the Brazil nut skin was acquired in the chestnut factory COMAJA located in the municipality of Laranjal del Jari-AP, 5 kg of shells were collected, that residual mass was taken to the Jari Celulose Cascade Laboratory, SA associated company. The segregation of this material was made, after clean, dry and heavy the husks were taken to the muffle furnace at a temperature of  $600 \pm 1$  ° C for 2 hours for its carbonization then taken to a second muffle at  $800 \pm 1$  ° C for 1 hour for the activation process. Three different activated carbons (CA) were produced in order to identify which would be the most efficient in the adsorption aspect. The CA were separated as follows: physically activated carbon (CAF) activated carbon chemically in activator solution with the concentration of 40 g / L (CAQ40) activated carbon chemically in activating solution 80g / L (CAQ80), a characterization by medium of the gray, pH and granulometry analyzes, since two screens were used, one being 20 mesh and the other 60 mesh for the tests. After the CA production, the adsorption tests were carried out by the experimental method, after the aluminum analysis was performed in the DR3900 spectrophotometer, the CA that had the most removal efficiency reaching 90% was the CAF with granulometry of 60 mesh, with these results it was observed that the pH and the sizes of the particles of the CA influence the removal potential of the aluminum metal, a very relevant result since the CAF does not carry any addition of chemical product, which reduces the cost of production, making it more accessible to low-income populations.

**Keywords:** Heavy metals. Toxicity. Water treatment. Adsorbents

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fotografia da Castanheira, amêndoa e ouriço. A: Castanheira; B: Amêndoa e ouriço.....	16
Figura 2 – Fotografia do processo de lavagem e secagem das cascas. A: Lavagem; B: Secagem.....	25
Figura 3 – Fotografias do processo de pesagem, inserção na mufla. A: Pesagem das cascas; B: Inserção da amostra na mufla.....	26
Figura 4 – Fotografias do preparo e uso da solução ativante dos CAQs. A: Hidróxido de Sódio; B: Cascas imersas em solução ativante.....	27
Figura 5 – Fotografias do peneiramento do carvão ativado. A: Peneiras de 20 e 60 mesh; B: Carvão após peneiramento.....	27
Figura 6 – Fotografia do CA em contato com amostra de água. A: Amostra em processo de adsorção; B: Mesa agitadora.....	29
Figuras 7 – Fotografia do espectrofotômetro DR 3900.....	29
Figura 8 – Fluxograma do processo de produção do CA.....	30

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- RC e MVC da massa residual da casca da castanha.....	31
Tabela 2 - pH do CAF.....	32
Tabela 3 - pH do CAQ40.....	32
Tabela 4 - pH do CAQ80.....	32
Tabela 5- Valores em percentuais do teor de cinzas totais.....	33
Tabela 6 – Adsorção do alumínio usando o CAF de acordo com sua granulometria.....	34
Tabela 7 – Adsorção do alumínio usando o CAQ40 de acordo com sua granulometria.....	34
Tabela 8 - Adsorção do alumínio usando o CAQ80 de acordo com sua granulometria.....	34

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al	Alumínio
ASTM	Sociedade Americana de Teste e Materiais
CA	Carvão Ativado
CAF	Carvão Fisicamente Ativado
COMAJA	Cooperativa Mista Extrativista Vegetal dos Agricultores do Laranjal do Jari
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CAQ40	Carvão Ativado Quimicamente com 40g/l
CAQ80	Carvão Ativado Quimicamente com 80g/l
IAPUC	União Internacional de Química Pura e Aplicada
KOH	Hidróxido de Potássio
MESH	Abertura de peneira da série Tyler
MVC	Material Volátil do Carvão
MVCA	Material Volátil do Carvão Ativado (g)
NaOH	Hidróxido de Sódio
pH	Potencial Hidrogeniônico
RC	Rendimento do Carvão (g)
RPM	Rotação por Minutos
TC	Teor de Cinzas (%)
ZnCl <sub>2</sub>	Cloreto de Zinco

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
2.1	Geral .....	15
2.2	Específicos.....	15
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
3.1	Castanha do Brasil .....	16
3.2	Importância e utilidades.....	16
3.3	Recursos hídricos .....	17
3.4	Tratamento de água.....	18
3.5	Poços semi-artesianos .....	18
3.6	Metais pesados .....	19
3.7	Alumínio .....	19
3.8	Toxicidade .....	20
3.9	Adsorção .....	21
3.10	Tipos de adsorção .....	21
3.11	Equilíbrio de adsorção .....	21
3.12	Adsorventes .....	22
3.13	Carvão Ativado .....	22
3.14	Processo de ativação .....	23
3.15	Propriedade do carvão .....	24
3.15.1	Estrutura Cristalina .....	24
3.15.2	Porosidade.....	24
3.15.3	Quanto à Forma.....	24
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
4.1	Produção do carvão ativado fisicamente (CAF).....	25
4.2	Produção do carvão ativado quimicamente (CAQ40 e CAQ80).....	26
4.3	Caracterização do carvão ativado .....	28
4.3.1	Teor de Cinzas (TC) .....	28
4.3.2	pH .....	28
4.4	Teste de adsorção dos CAs em amostra de água do poço semi-artesiano.....	28
4.5	Análise de alumínio em amostras líquidas .....	29
4.6	Fluxograma do processo experimental.....	30
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>

5.1	Carbonização da casca da castanha do Brasil ( <i>Bertholletia excelsa</i> L.).....	31
5.2	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	31
5.3	Teor de cinzas total (TC) .....	33
5.4	Influência do diâmetro da partícula .....	33
5.5	Resultados de adsorção em percentuais.....	34
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>36</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um elemento abundante e de fundamental importância para todos os seres vivos, sem água não haveria vida na terra, no entanto somente 3% da água disponível no planeta é considerada doce e após tratamento própria para consumo humano (BRASIL, 2007). Esse método precisa ser eficaz a ponto de eliminar ou reduzir as impurezas que podem trazer risco a saúde.

Um dos maiores desafios enfrentados pela atual geração é descobrir maneiras viáveis para usar as fontes de água com prudência, pensando nos próximos seres vivos, isentas de agentes contaminantes e próprias ao consumo humano. A poluição é uma problemática de grande relevância em relação a água potável, devido ao fato de que todos os dias no mundo os mananciais são fontes receptoras de cerca de dois milhões de toneladas de múltiplos resíduos, o consumo de água contaminada por agentes biológicos ou físico-químicos alteram a qualidade de vida da população (SILVA e ARAÚJO, 2003).

O manancial subterrâneo é um dos principais meios de obtenção de água, na maioria das vezes não necessita de tratamento para ser consumida, visto que acontece a filtragem natural pelo subsolo. Esses mananciais são compostos por: poços rasos e fundos, nascentes e galerias de infiltração (PHILIPP, 2005).

A contaminação por metais pesados nas águas subterrâneas é um tema de grande relevância, visto que, o uso de poços semi-artesianos é comum no município de Laranjal do Jari, em pesquisas anteriores notou-se em análise laboratoriais de amostras de águas de poços semi-artesianos que a quantidade de alumínio está com concentração elevada levando em consideração que o limite aceitável por lei é 0,2mg/L de acordo com a Portaria 2.914/11 (MAIA et al, 2018).

De acordo com A RESOLUÇÃO DO CONAMA 357/2005 Analisando as formas que as águas estão classificadas em doces, salobras e salinas essencial à defesa de seus níveis de qualidade, medidos por condições e padrões específicos, de modo a assegurar seus usos principais; A Portaria de nº 2.914 de dezembro de 2011 classifica parâmetros de potabilidade da água que determinam a quantidade aceitável de cada metal presente nesse recurso.

A busca de metodologias práticas, eficientes e de baixo custo vem sendo uma constante para minimizar esse problema. O uso do carvão ativado no processo de tratamento de água tem mostrado resultados positivos na adsorção de íons metálicos. Em virtude disso, é crescente a busca por carvão ativado a partir de materiais orgânicos e inorgânicos de baixo custo e eficiente.

Carvões ativados são compostos por substâncias carbonosas e porosas que sofreram uma alteração para aumentar a porosidade interna. Uma vez ativado, o carvão apresenta uma porosidade interna comparável a uma rede de túneis que se bifurcam em canais menores e assim sucessivamente. As formas como os poros se dividem são: macro, meso e microporosidade, de acordo com o tamanho dos poros (CLAUDINO, 2003). O CA possui uma elevada capacidade de adsorção, é gerado por meio da desidratação e carbonização de matéria prima, sendo eficiente e amplamente utilizado para o tratamento de água e efluentes. Contudo, a fabricação desses adsorventes muitas das vezes possuem um custo elevado devido a matéria prima selecionada.

Buscando um adsorvente de baixo custo surgiu o interesse de produzir carvão ativado a partir da massa residual da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa L.*) com intuito de estudar seu potencial de adsorção do alumínio presente em águas de poços semi-artesianos. Neste trabalho apresentou-se a produção do carvão químico e fisicamente ativado e as análises realizadas para cada carvão em duas faixas de granulometria de 20 e 60 mesh.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

- Produzir carvão ativado a partir da massa residual da casca da castanha do Brasil, verificando sua eficácia no processo de adsorção do alumínio presente nas águas de poços semi-artesianos do Município de Laranjal do Jari-AP.

### **2.2 Específicos**

- Gerar carvão ativado químico e fisicamente, empregando como insumo a casca da castanha do Brasil (*Bertolletia excelsa L.*);
- Caracterizar os carvões ativados produzidos;
- Avaliar a eficiência de adsorção do alumínio por meio de análises laboratoriais;

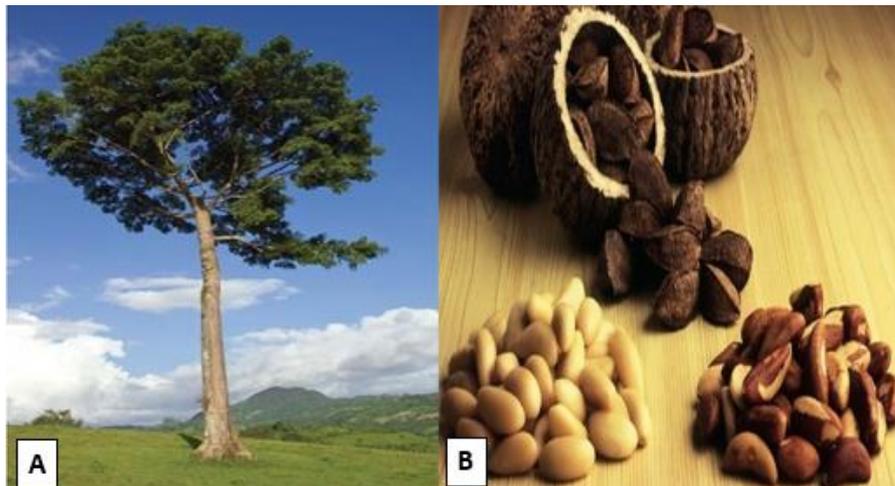
### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Castanha do Brasil

A castanheira é uma árvore de grandes dimensões, repetidamente alcançando de 50 a 60 m de altura. O tronco é ausente de galhos até perto da copa, ereto e cilindro, medindo até 2,5 m de diâmetro à altura do peito e é revertido com uma casca áspera de cor cinza amarronzada com fissuras longitudinais. As folhas são simples e aconchegadas alternadamente nos galhos (ARAUJO, 2008).

A castanha do Pará ou do Brasil é a semente da castanheira (*Bertholletia excelsa* L.) conforme a figura 1, constitui a família botânica Lecythidaceae, do gênero *Bertholletia*, e em apreço à majestade de seu porte denominaram-na excelsa (espécie). Afirmavam que deveria haver duas espécies a excelsa e a nobilis (NEVES, 1987). No Brasil, adota-se para classificação excelsa para espécie e *Bertholletia* para o gênero (SOUZA, 1945).

Figura 1 – Fotografia da castanheira, amêndoa e ouriço. A: Castanheira; B: Amêndoa e ouriço.



Fonte: EMBRAPA, 2018

#### 3.2 Importância e utilidades

O uso e exploração da castanha do Brasil é considerada umas das principais atividades na Região Amazônica, esta vem como uma fonte de sustento de diversos extrativistas (HOMMA, 2004). Uma das maiores riquezas da floresta Amazônica destaca-se a castanha espécie de vegetais nobres, de grande valor econômico. Possui várias utilidades, em relação ao ouriço é aproveitado para fins artesanal e adornos, já a casca da semente seu uso maior acontece

para alimentar fornalhas e caldeiras das usinas de beneficiamento, tanto as cascas quanto o ouriço são considerados bons defumadores de borrachas (SOUZA, 1963; MENEZES, 1968).

Estima-se que no Brasil para cada 1,0 kg de sementes limpas são gerados aproximadamente 1,4 kg de resíduos, valor elevado levando em consideração quantidade de sementes consumidas, diante disso surgiu uma preocupação em promover a destinação correta desses resíduos (OLIVEIRA; LOBO, 2002). Alguns estudos foram desenvolvidos para aproveitamento desses resíduos, principalmente das cascas e ouriços, para produção de carvão ativado com potencial de remoção de metais pesados tanto em efluentes quanto nas águas de consumo humano, o que tem se mostrado economicamente mais favorável (CHEN e WANG, 2000).

### **3.3 Recursos hídricos**

O aumento da demanda por recursos hídricos, na quantidade e qualidade apropriada, se eleva a disputa dos usuários pela sua utilização. Quando se tem a percepção que a água é um recurso que pode ficar escasso faz com que ela seja considerada um recurso natural com valores econômico, estratégico e social (ALSTON; MUELLER 2002).

Os recursos hídricos são abrangidos como fontes de valor econômico essencial para a existência e desenvolvimento dos seres vivos. São fartos na natureza, no entanto, no decorrer de muitos anos se imaginava que a falta de água potável era impossível, porém com o passar dos anos a crise hídrica tornou-se um assunto de preocupação mundial (BRASIL, 2007).

Segundo Balazina e Credêncio (2007) o Brasil apresenta um enorme manancial de água doce, no entanto sua repartição é muito desigual em seu território. De tal modo, têm-se lugares onde a água é farta e barata. Devido a este motivo ocorre o desperdício e seu uso pode ser de forma desenfreada sem os devidos cuidados em relação à preservação da sua qualidade, uma ideia falsa de que a água se trata de um bem inesgotável em quantidade e qualidade.

A Lei nº 9.433/97 da Política Nacional dos Recursos Hídricos com intuito de fazer um gerenciamento adequado e disponibilizar água na quantidade e propriedades adequadas, estabeleceu como fundamento o respeito aos usos múltiplos e como prioridade o abastecimento humano e dessedentação animal em casos de escassez, a Lei das Águas deu outro passo importante tornando a gestão dos recursos hídricos democrática, onde ocorre a participação da sociedade como um todo, propondo medidas de gerenciamento sustentável.

### **3.4 Tratamento de água**

A água é um recurso natural indispensável para manutenção da vida na terra, não haveria vida no planeta sem ela (TUNDISI, 2003; REBOUÇAS, 2003). Nosso corpo possui milhares de células, todas essas compostas por água. Usamos água para consumo humano, auxiliar nas refeições, para a higiene pessoal e doméstica, transporte, produção de energia elétrica etc. Para que seu uso seja apropriado é necessário possui qualidades próprias para consumo humano, por isso a importância de realizar o tratamento para retirar as impurezas como: materiais tóxicos, e microrganismos como as bactérias e protozoários (VON SPERLING, 1996).

Tratamento de água é um extenso método de transformação pelo qual a água passa, tornando-se potável para os usuários, não importa a função que será utilizada é necessário passar por um sistema de tratamento composto de algumas fases, de acordo com a situação e quantidade de impurezas presentes esse processo pode ser mais complexo (HELLER, et al, 2006).

Existem várias técnicas para tratamento de água de consumo humano, porém a grande maioria tem um alto custo, o que dificulta sua disponibilidade de maneira correta e oferta para populações de baixa renda, isso tem ocasionado a procura de mananciais diferentes como poços artesanais e semi-artesianos.

### **3.5 Poços semi-artesianos**

Um poço artesiano é uma grande invenção que tem como propósito obter água em grandes profundidades, conhecido como poço tubular profundo. Existem também poços semi-artesianos, que diferente do outro necessita de bombas, pois a água não jorra espontaneamente, esse bombeamento é indispensável para obtenção de um determinado volume de água (SCHMIDT, 2006).

Quando falamos de águas subterrâneas estamos nos referindo a qualquer quantidade de água presente abaixo da superfície terrestre. Essas por sua vez se espalham nos poros, falhas ou rachaduras das rochas ou em espaços mais amplos como em cavernas subterrâneas. Elas englobam um importante recurso natural de grande relevância para a sociedade visto que em muitos dos casos abastecem em maior quantidade os rios (PHILIPPI, 2005).

Diante de todos os avanços nas pesquisas dos recursos hídricos notou-se que existem vantagem no uso das águas subterrâneas. Uma delas está associado ao fato de a disponibilidade ser superior em relação as demais, sem falar que na maioria dos casos é considerada potável devido os processos de infiltração no solo, além das ações físico-química e biológicas o que a

torna apropriada para consumo humano (ECKHARDT et al., 2008). No entanto ainda existem possibilidades desse tipo de poço possuir concentrações altas de metais pesados dissolvidos, colocando em risco a saúde da população que consome essa água (BIDONE et al. 1997a, b; MUDGAL et al. 2010; TAVARES; CARVALHO, 1992).

### **3.6 Metais pesados**

Os metais são solúveis em água, no entanto esse fato pode ter um efeito negativo, visto que, podem gerar danos à saúde dependendo da quantidade ingerida, a maioria dos metais possuem toxicidade, potenciais cancerígenos, mutagênicos ou teratogênicos (BRAGA, 2005). Existem vários estudos e pesquisas que dão ênfases que há uma ligação entre alumínio presente na água e as múltiplas doenças do foro neurológico, como Alzheimer, Parkinson, a esclerose lateral amiotrófica dentre outras. No entanto apesar da existência de estudos avançados a forma como o alumínio exerce seus efeitos tóxicos no cérebro não são compreendidos totalmente. A maioria dos metais possui uma densidade maior que  $5 \text{ g/cm}^3$ , por isso que recebem o nome de metais pesados (JIMENES, DAL BOSCO e CARVALHO, 2004).

A presença de metais pesados geralmente acontece na formação de rochas e minérios, alguns também se concentram nos solos, água e organismos vivos. A poluição tem contribuído para o aumento anormal da concentração desses metais aos níveis normal de formação, quando existe presença de metais pesados em rios e lagos ocorrem vários problemas de saúde em seres humanos, animais e plantas (COSTODES et al, 2003).

Existem dois principais mecanismos de ação dos metais pesados: a formação de complexos com os grupos funcionais das enzimas, o que dificulta o funcionamento normal do organismo, a combinação com as membranas celulares que em alguns casos impede o transporte das substancias essenciais como os íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , e de substâncias orgânicas (FELLENBERG, 1980).

### **3.7 Alumínio**

O metal alumínio faz parte do grupo IIIA da tabela periódica, possui número atômico 13 e massa atômica de 26,98u. Com ponto de fusão de  $660^\circ\text{C}$  e ebulição a  $2327^\circ\text{C}$ . Com densidade de  $2,70 \text{ g/cm}^3$  (Merian et al., 2004). É o mais abundante na terra e o segundo mais estável. Tem alta capacidade de reação, tem elevada afinidade para o hidrogênio na fase líquida e por ter a tendência de formar óxidos de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). É um elemento trivalente, leve,

maleável, resistente à corrosão, com elevada condutividade elétrica, devido às suas propriedades tem uma vasta utilização (MANAHAN, 2005).

O Al se encontra de maneira abundante no meio ambiente, na água, no solo e no ar. Sua origem pode ser de forma natural ou antropogênica. Os processos naturais influenciam na distribuição do alumínio. Podem-se destacar os seguintes: especiação química, fluxos hidrológicos, fatores temporais e espaciais relacionados com a interação solo-água e a composição e estrutura geológica do local (IMRAY et al., 1998)

Com o passar dos anos notou-se que a presença de alumínio teve um aumento significativo em água destinada a consumo humano, esse fato tem se tornado assunto de várias pesquisas e discussões entre a comunidade científica. Existem alguns estudos que associam a presença desse metal em águas com doenças do foro neurológico (INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE, 2003).

### **3.8 Toxicidade**

Ter uma noção da química do alumínio é de fundamental importância para entender sua toxicidade e biodisponibilidade. Há vários fatores que induzem a forma como acontece a biodisponibilidade do Al no meio ambiente, entretanto confere uma função importante à matéria orgânica de composição heterogênea (ácidos húmicos por exemplo) e à sílica oligomérica (ALBERTI et al., 2005)

A toxicidade aguda do alumínio é fraca. No homem, o consumo via oral de doses não superiores a 7,2mg/dia são toleradas sem qualquer manifestação causal de curto prazo. Entretanto seu consumo em grandes quantidades ocasiona diversos efeitos nocivos à saúde como úlceras nos lábios e boca, anemia microcítica (INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE, 2003; BASTOS, 2007).

Os efeitos observados no homem em quase sua totalidade são consequências da toxicidade crônica. Esses sinais foram notados em ambientes profissionais onde ocorre a exposição crônica ao alumínio no caso de pacientes com insuficiência renal que precisam de diálise (INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE, 2003).

### 3.9 Adsorção

A técnica da adsorção é uma das mais eficazes no tratamento de águas e efluentes por meio da purificação e desidratação de gases e por fracionamento de fluídos difíceis de separação por outros métodos existentes (BORBA, 2006). O processo de adsorção acontece quando as moléculas se acumulam ou se adsorvem na interface sólido/líquido são denominadas adsorvato, enquanto que o material sólido é adsorvente, essa acumulação na superfície de um sólido em solução ocorre devido à ação de forças de superfícies não balanceadas (DI BERNARDO, 2005). A eficiência de adsorção está associada com a superfície total do adsorvente, quanto maior for a superfície maior será as forças disponíveis para adsorção (RAMALHO, 1977).

### 3.10 Tipos de adsorção

Existem dois tipos de adsorção: adsorção física ou fisissorção e adsorção química ou quimissorção. Entretanto se torna difícil diferenciar os dois tipos em alguns casos visto que, podem ocorrer concomitantemente ou em situações intermediárias (SOARES, 1996). A adsorção física acontece quando forças intermoleculares de atração das moléculas na fase líquida e da superfície sólida são maiores que as forças de atração entre as moléculas do próprio fluído. Ocorre uma aderência das moléculas do fluído à superfície do adsorvente sólido e fica estabelecido um equilíbrio entre o líquido adsorvido e a fase fluida restante (FOUST et al, 1982). Nesse tipo de adsorção nenhuma ligação química nova se forma (SHIRIVER e ATKINS, 2003). Na parte interna do sólido as moléculas são completamente cercadas por moléculas semelhantes que estão sujeitas às forças de equilíbrio. Já adsorção química por sua vez acontecem ligações químicas de adsorvato-superfície (SHIRIVER e ATKINS, 2003), em seguida, envolve o rearranjo de elétrons do líquido que interage com o sólido e a consequente formação da ligação química. O adsorvato sofre uma mudança química e é geralmente dissociado em fragmentos independentes, formando radicais e átomos ligados ao adsorvente (SOUZA, 2008). Em muitos casos a adsorção é irreversível e é difícil separar o adsorvato do adsorvente (FOUST et al, 1982).

### 3.11 Equilíbrio de adsorção

Para que os adsorvatos sejam mantidos na superfície são necessários a presença de várias forças como: pontes de hidrogênio, interações dipolo-dipolo e forças de van der Waals. Se a reação é reversível, como ocorrem com muitos compostos adsorvidos em carvão ativado, as moléculas continuam acumulando na superfície do carvão até que a taxa de reação direta

(adsorção) seja igual a taxa de reação reversa (dessorção). Quando acontecem essas situações o equilíbrio é alcançado e não ocorre acumulação futura. (SNOEYINK, 1990).

### **3.12 Adsorventes**

Os adsorventes são formados por substâncias naturais ou sintéticas, possuem uma estrutura cristalina, com área superficial elevada para uma massa selecionada. A superfície interna dos poros é acessível a uma combinação seletiva entre adsorventes e adsorvato (FRANCHI, 2004). A classificação dos adsorventes se dá por intermédio do tamanho dos poros de acordo com sua polaridade. É o tamanho dos poros que vai determinar a acessibilidade das moléculas do adsorvato ao interior do adsorvente, pode-se afirmar que a distribuição do tamanho dos poros é uma das principais propriedades na capacidade de adsorção (BRANDÃO, 2006). Existem vários tipos de adsorventes, dentre os mais utilizados encontram-se o carvão ativado, zeólitas, sílica gel, alumina ativada. (SCHNEIDER, 2007). O que tem ocasionado a baixa procura desses adsorventes é seu preço que ainda é considerado elevado.

### **3.13 Carvão Ativado**

O carvão ativado ou carbono ativado (CA) é o nome designado ao um grupo de materiais carbonáceos produzidos exclusivamente com alta porosidade e uma elevada área superficial. Possui uma grande capacidade de adsorção, devido a esse fato passou a ser utilizado no processo de purificação, desintoxicação, filtração, descolorização, tem sido muito eficiente na separação ou concentração de materiais líquidos e gasosos, tem seu uso eficaz em áreas alimentícias, farmacêuticas, química, petrolífera, nuclear e automotiva, também é usado no tratamento de águas residuais das indústrias e no tratamento de água para consumo humano (BANSAL e GOYAL, 2005).

A composição do CA é basicamente 87 a 97% de carbono, porém possui outros elementos como o oxigênio, o hidrogênio, o enxofre e o nitrogênio. A proporção de cada um destes elementos depende do precursor vegetal utilizado na sua fabricação (JANKOWSKA et al, 1991). Para que se produza carvão ativado é necessário encontrar um precursor rico em carbono, seja vegetal como a madeira, de animais como ossos ou sintéticos como resinas fenólicas, etc. No entanto, não basta ter somente essas composições para se ter um precursor aceitável, algumas características são essenciais como: não fundir na temperatura de carbonização, ter baixo conteúdo de matéria inorgânica, baixa degradação durante estocagem e fácil ativação com alto rendimento (JANKOWSKA et al, 1991).

### 3.14 Processo de ativação

A ativação é um processo de fundamental importância consecutivo à pirólise (Carbonização), acontece quando o material carbonizado sofre outras reações que contribuem para o aumento da área superficial, promovendo assim a ampliação da porosidade do carvão. É importante no momento de ativação ter o controle das características básicas do material (distribuição de poros, área superficial específica, atividade química da superfície, resistência mecânica, etc.) levando em consideração o uso específico pelo qual se destina (SOARES, 2001). Existem dois tipos de ativação: ativação química e ativação física.

A ativação química é um processo que envolve a impregnação de agentes desidratantes químicos como ácido fosfórico, hidróxido de sódio ou potássio e cloreto de zinco, é adicionado sobre o precursor antes da carbonização que acontece na faixa de temperatura de 400 a 800°C. Em seguida o reagente químico é removido, por exemplo, por extração (FERNANDES, 2005; SOARES, 2001). A ativação química tem um papel fundamental na remoção do O<sub>2</sub> e do H<sub>2</sub>. O oxigênio e o hidrogênio são quase totalmente dissolvidos com a adição desses reagentes catalizadores abaixo de 700°C (YANG, 2003). As estruturas de poros são produzidas de formas diferentes de acordo com os agentes químicos usados no processo; por exemplo, o carvão ativado com ZnCl<sub>2</sub> forma mais mesoporos, já o KOH há a formação de micro poros, embora ambos apresentem formação de elevadas áreas específicas, em torno de 1000 m<sup>2</sup>/g, o ZnCl<sub>2</sub> é ligeiramente superior (YANG, 2003).

A ativação física acontece da seguinte forma: reação de gaseificação do carvão com gases contendo oxigênio combinado (geralmente H<sub>2</sub>O e CO<sub>2</sub> ou misturas de ambos) com o carvão. Existem experimentos com grafite mostram que a velocidade de reação do vapor de água é 8 vezes maior que a do CO<sub>2</sub>. Os dois gases agem como fontes de oxidação moderados na faixa de temperatura de 800 a 1000°C.

As reações de ativação que acontecem nesse processo são de natureza endotérmica, as partículas de carvão devem permanecer em contato com os gases oxidantes e o sistema deve ser aquecido além da temperatura de reação que se deseja. Abaixo de 800°C a velocidade de reação é drasticamente reduzida e o processo de ativação cessa para fins práticos. O fornecimento de energia pode acontecer de forma direta ou indireta isso de acordo com o forno usado. O calor ocasionado pela combustão do próprio gás de reação também deve ser considerado como energia no procedimento. (SOARES, 2001).

### **3.15 Propriedade do carvão**

#### **3.15.1 Estrutura Cristalina**

A estrutura cristalina do carvão ativado acontece no início do processo de carbonização da matéria-prima utilizada, nesse sistema ocorre a remoção dos elementos de hidrogênio e oxigênio na forma gasosa por decomposição pirolítica. Em seguida, os átomos de carbono elementar são liberados, agrupando-se em formações cristalográficas organizadas, semelhantes à estrutura do grafite, conhecidas como cristalitos grafíticos elementares, mas contendo alguns desvios. A estrutura ordenada do grafite com tais desvios é chamada de estrutura turbo estática (JANKOWSKA et al, 1991).

#### **3.15.2 Porosidade**

A atuação de um carvão ativado tem relação direta com a sua superfície química e estrutura de poros, o que gera uma grande área superficial. As características de adsorção se diferenciam de acordo com estrutura da porosidade do material. Porosidade significa o volume específico de todos os poros (volume dos poros por grama do adsorvente). Com base nas propriedades de adsorção, a IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) estabelece uma classificação para os poros, conforme apresentado a seguir (SOARES, 2001; FERNANDES, 2005).

#### **3.15.3 Quanto à Forma**

A expressão poro aberto ou fechado é usada para indicar buracos em materiais sólidos, o aberto tem comunicação com superfícies externas e o fechado corresponde a buracos isolados. Se é aberto permite um fluxo de um fluido é classificado como poro de transporte, sendo que, este pode apresentar braços que não contribuem para o fenômeno de transporte (SOARES, 2001; FERNANDES, 2005).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A massa residual utilizada neste processo de produção de carvão, a casca da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*) foi adquirida na COMAJA fábrica de castanha localizada no município de Laranjal do Jari-AP, foi coletado 5 Kg de cascas, essa massa residual foi levada para o Laboratório da Jari Celulose S.A empresa parceira, onde foram lavadas em água corrente e seca em estufa da marca FANEM modelo 320 SE a uma temperatura de  $100 \pm 1^\circ \text{C}$  por um período de 3 horas, em seguida foi feita uma segregação da quantidade que seria usada na preparação do carvão ativado fisicamente (CAF) e os carvões ativados quimicamente (CAQ40) e (CAQ80) conforme figura 2.

Figura 2 – Fotografia do processo de lavagem e secagem das cascas. A: Lavagem; B: Secagem.



Fonte: Autor, 2018

### 4.1 Produção do carvão ativado fisicamente (CAF)

Primeiro processo de produção do CAF foi realizado pelo método experimental, a amostra foi pesada em cápsulas de porcelana em balança semi-analítica da marca OHAUS modelo AR2140, em 4 cápsulas, 2 contendo 100 g cada e as outras 2 contendo 150 g, no total de 500 g, em seguida levadas para forno mufla da marca FORNITEC modelo 2.076 a uma temperatura de  $600 \pm 1^\circ \text{C}$  por 2 horas para sua carbonização, após esse tempo foi levada para uma segunda mufla a  $800 \pm 1^\circ \text{C}$  por 1 hora para o processo de ativação, conforme figura 3. Após esse período foram retiradas da mufla, colocadas em dessecador, armazenadas em local seguro até atingir a estabilidade de temperatura ambiente, após esse tempo foram pesadas para saber a quantidade em gramas do aproveitamento do CA e a quantidade que se volatilizou, após esse processo levadas para moagem e peneiramento, foram utilizadas 2 peneiras, sendo um de

20 mesh e a outra de 60 mesh, no qual resultou no produto final CAF, foram separadas de acordo com sua granulometria e armazenadas em sacos plásticos zipados o que evita o contato direto com umidade e preserva a amostra para os testes.

Figura 3 – Fotografias dos equipamentos de medição e carbonização. A: Balança semi-analítica, pesagem das cascas; B: Forno de mufla, inserção da amostra para carbonização.



Fonte: Autor, 2018

#### 4.2 Produção do carvão ativado quimicamente (CAQ40 e CAQ80)

O segundo processo foi a produção do carvão ativado quimicamente (CAQ) foi realizado pelo método experimental, foi preparado dois tipos de CAs, um ativado a uma solução com concentração de NaOH 40 g/L (CAQ40) e o outro a uma solução de 80 g/L de NaOH (CAQ80). Para preparo das soluções ativantes foi pesado em balança semi-analítica 40 g e 80 g de hidróxido de sódio, cada medida foi solubilizada e homogeneizada em 1000 mL de água deionizada conforme figura 4.

Após o preparo, foi pesado 500 g da amostra e adicionado na solução ativante 40 g/L, e 500g na solução 80 g/L, foi acondicionado por um período de 24 horas imersa nesse banho, decorrido o tempo foram escorridas e lavadas numa peneira com bastante água corrente, em seguida secas em estufa  $100 \pm 1^\circ\text{C}$  por 3 horas, após secas e limpas foram pesadas em 4 cápsulas de porcelana cada uma contendo 250 g da amostra, sendo 2 contendo o CAQ40 e 2 contendo o CAQ80.

Separadas e pesadas foram para forno mufla  $600 \pm 1^\circ\text{C}$  por 2 horas para sua carbonização, decorrido esse tempo foram retiradas as cápsulas e colocadas em outra mufla a  $800^\circ\text{C}$  para ativação, durante 1 hora, transcorrendo esse período foram reservadas em

dessecador até atingir a temperatura ambiente, posteriormente foram pesadas para descobrir a quantidade de aproveitamento, armazenadas em sacos plásticos zipados para os demais testes.

Figura 4 – Fotografias do preparo e uso da solução ativante dos CAQs. A: Hidróxido de Sódio; B: Cascas imersas em solução ativante.



Fonte: Autor, 2018

Os três tipos de carvões foram passados em peneira de 20 mesh e 60 mesh com 0,841mm e 0,250 mm respectivamente de acordo com a Associação Brasileira de Normas, ABNT, conforme figura 5, armazenados separadamente de acordo com sua granulometria para a realização dos testes selecionados.

Figura 5 – Fotografias do peneiramento do carvão ativado. A: Peneiras de 20 e 60 mesh; B: Carvão após peneiramento.



Fonte: Autor, 2018

### **4.3 Caracterização do carvão ativado**

#### **4.3.1 Teor de Cinzas (TC)**

A cinza é o produto inorgânico procedente da queima do carvão. O teor de cinzas é um parâmetro de grande relevância pois oferece características ao carvão pela sua contribuição no processo de combustão (SÁNCHEZ et al, 2002) Para efetivação deste ensaio foi usado o método ASTM D 2866-94, os cadinhos de porcelana foram calcinados a uma temperatura de  $650 \pm 1$  °C por 1 hora em forno tipo mufla e resfriado em dessecador para ser pesado. Após obter os valores de taras, pesou-se aproximadamente 0,1 g de cada CA no cadinho em balança analítica e levado ao forno mufla a  $650 \pm 1$  °C por 3 horas em presença de oxigênio. Transcorrendo esse tempo, foi feita uma verificação para observar se não havia nenhum resíduo preto de matéria orgânica, logo após os cadinhos foram retirados da mufla, colocados num dessecador até atingir o resfriamento em temperatura ambiente para ser pesado. O resultado da diferença entre o peso do cadinho inicial sem amostra e o peso final do conjunto convertido em percentagem resultou na quantidade total de cinzas na amostra.

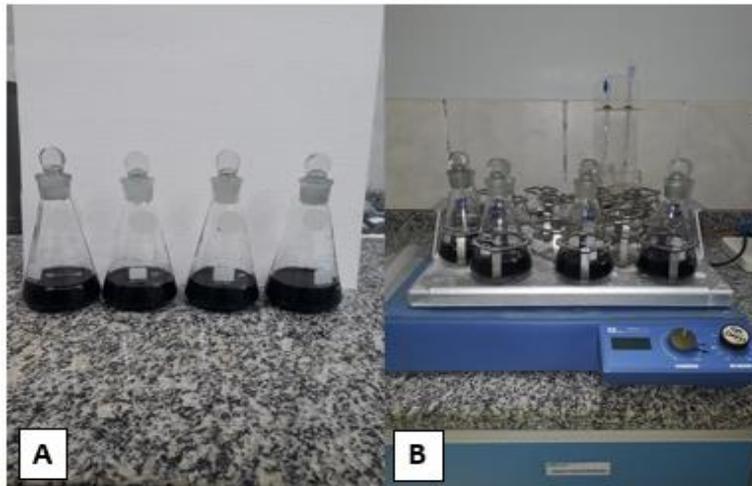
#### **4.3.2 pH**

Este parâmetro foi verificado usando um método experimental, utilizando uma concentração de 1% do carvão, o ensaio foi realizado em duplicata, escolhida as faixas granulométricas de 20 e 60 mesh para cada CA produzido. Foi pesado em balança semi-analítica 1 g do CA em seguida transferido para um Erlenmeyer de 250 mL e adicionado 100 mL de água deionizada, logo após colocado em mesa agitadora por um período de 2 horas. Decorrido esse tempo as amostras foram lidas em potenciômetro para identificação das faixas de pH.

### **4.4 Teste de adsorção dos CAs em amostra de água do poço semi-artesiano**

Foi realizado o ensaio de adsorção pelo método experimental, realizou-se os testes em triplicata para cada CA, pesou-se 1g de carvão para 100 mL da amostra de água do poço selecionado do bairro Agreste Laranjal do Jari-AP que abastece os bairros Santarém e Sagrado coração de Jesus, em seguida levada para mesa agitadora por um período de 2 horas na rotação de 260 rpm, conforme figura 6. Decorrido o tempo de agitação filtrou-se em papel faixa azul que corresponde filtragem lenta, com objetivo de retirar as partículas dos CAs para a realização das análises de alumínio.

Figura 6 – Fotografias do CA em contato com amostra de água. A: Amostra em processo de adsorção; B: Mesa agitadora.



Fonte: Autor, 2018

#### 4.5 Análise de alumínio em amostras líquidas

Essa análise foi feita pelo método 8012 DR 3900, foi separado erlenmeyer de 100 mL e adicionado 50 mL da amostra, adicionou-se uma bolsa do reativo ácido ascórbico, agitou-se até completa solubilização do reagente, adicionou-se uma bolsa do reagente aluver 3, em constante agitação durante 1 min, a presença de alumínio desenvolveu uma coloração roxo-laranja, separou-se 25 mL da amostra para prova em branco em cubeta e colocado o agente branqueante, cada amostra teve sua própria prova em branco. Esperou-se um tempo de 15 min de reação, foram levadas para o equipamento espectrofotômetro da marca HACH Company, modelo DR 3900 conforme figura 7, onde foram feitas todas as leituras.

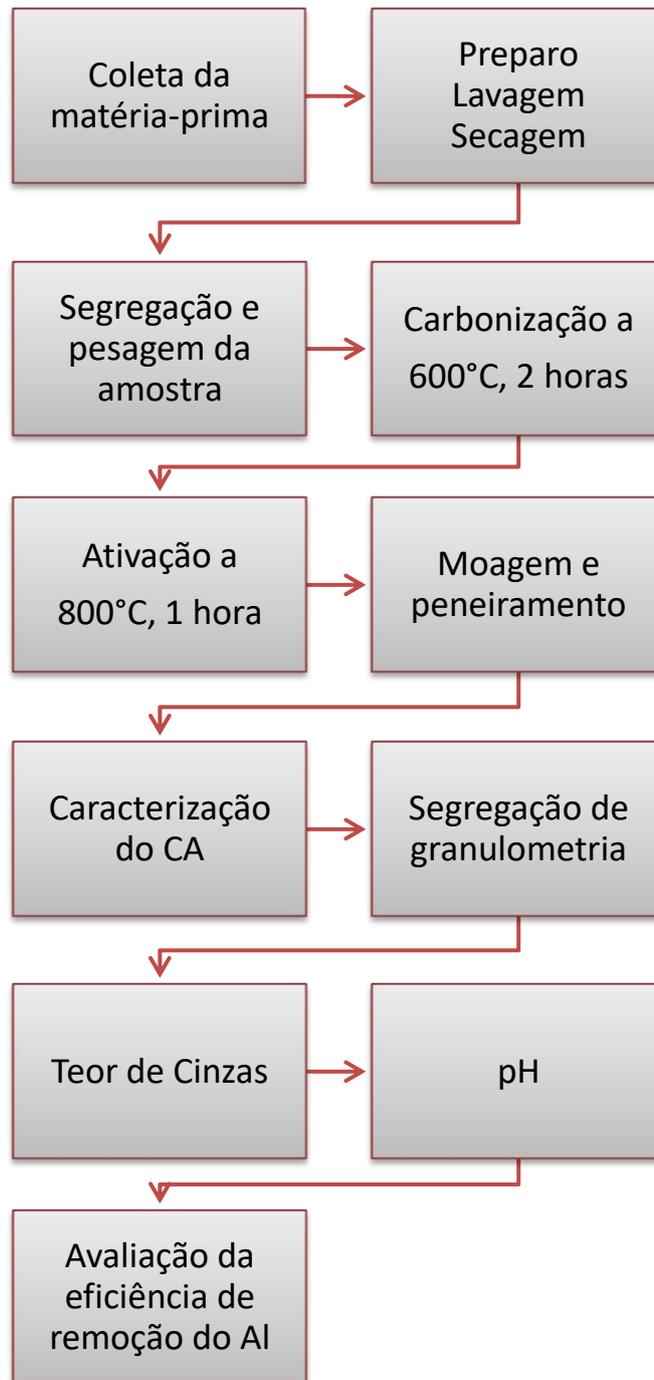
Figuras 7 – Fotografia do aparelho para verificação de alumínio denominado espectrofotômetro DR 3900.



Fonte: Autor, 2018

#### 4.6 Fluxograma do processo experimental

Figura 8 – Fluxograma do processo de produção do CA



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão expostos os resultados alcançados nas etapas de produção, caracterização e estudo do potencial de adsorção do alumínio presente em águas de poços semi-artesianos usando o carvão ativado a partir casca da castanha do Brasil de acordo com a metodologia experimental.

### 5.1 Carbonização da casca da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa L.*)

É de fundamental importância registrar os valores de massa antes e após a carbonização de cada amostra isso auxiliar nos cálculos finais de rendimentos e de materiais que se perderam ou se volatilizou. A Tabela 1 mostra os valores médios em rendimento (RC) dos três tipos carvões e dos materiais voláteis dos carvões (MVC).

Tabela 1- RC e MVC da massa residual da casca da castanha

Rendimento do carvão ( RC) e material volátil (MVC)				
CA	MI(g)	MF(g)	RC(%)	MVC(%)
CAF	500	72	14,4	85,6
CAQ40	500	132	26,4	73,6
CAQ80	500	142	28,4	71,6

Fonte: Autor, 2018

Onde MI é a massa inicial pesada em cápsula de porcelana, MF é a massa final após 3 horas em forno mufla 600 °C e 1 horas em mufla 800 °C para ativação.

Fazendo uma comparação dos resultados da Tabela 1 com os resultados de Ramos (2005) e Pinto (2011) que trabalharam com as biomassas do açaí e do buriti, carbonizados a uma temperatura de 400 °C por um período de 3 horas, observa-se que o RC e o MVC para casca da castanha apresentou valores baixos de rendimentos e consequentemente altos de material que se volatilizou em relação ao do caroço do açaí (45,33 % e 54,67 %) e do caroço do buriti (73,01 % e 26,99 %).

### 5.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH do carvão ativado é um parâmetro de grande relevância, visto que influencia na qualidade do produto final principalmente no processo de adsorção. De acordo com Mohan e Pittman (2006), os carvões ativados variam de pH de acordo com as temperaturas que foram

submetidos na ativação, podem ser classificados como ácidos, quando ativados sob temperaturas de 200 a 400 ° C ou básicos, quando ativados em temperaturas de 800 a 1000 ° C. Os testes dos CAs realizados foram feitos a 800 ° C, a tabela 2 mostra os resultados obtidos.

Tabela 2 - pH do CAF

AMOSTRA	pH DA ÁGUA	CAF 20 MESH	CAF 60 MESH
		pH	pH
1	4,38	10,51	11,31
2	4,39	10,53	11,33
<b>MÉDIA</b>	<b>4,40</b>	<b>10,52</b>	<b>11,32</b>
<b>CARACTERÍSTICA</b>	Ácido	Alcalino	Alcalino

Fonte: Autor, 2018

Tabela 3 - pH do CAQ40

AMOSTRA	pH DA ÁGUA	CAQ40- 20 MESH	CAQ40- 60 MESH
		pH	pH
1	4,38	11,46	11,69
2	4,39	11,50	11,71
<b>MÉDIA</b>	<b>4,40</b>	<b>11,46</b>	<b>11,69</b>
<b>CARACTERÍSTICA</b>	Ácido	Alcalino	Alcalino

Fonte: Autor, 2018

Tabela 4 - pH do CAQ80

AMOSTRA	pH DA ÁGUA	CAQ80- 20 MESH	CAQ80- 60 MESH
		Ph	pH
1	4,38	11,23	11,53
2	4,39	11,18	11,27
<b>MÉDIA</b>	<b>4,40</b>	<b>11,21</b>	<b>11,40</b>
<b>CARACTERÍSTICA</b>	Ácido	Alcalino	Alcalino

Fonte: Autor, 2018

Os CAs produzidos apresentaram pH básico se deve ao processo de ativação a 800 °C de temperatura. Esses apresentam óxidos básicos em sua superfície e em suas cinzas o que proporciona uma elevação do pH, assim adsorvem compostos ácidos (MOHAN e PITTMAN, 2006). Segundo DI Bernardo e Dantas (2005), o pH deve estar abaixo de 4 ou acima de 10 para que o carvão adsorva muitos elementos por se tratar de um ácido de Lewis.

Os resultados do pH obtidos por Ramos (2005) de 8,58 e Pinto (2011) de 10,70, notou-se que ambos apresentaram um caráter alcalino, comparando com o pH dos CAs da casca da castanha ficou mais próximo ao CA do caroço de buriti.

### 5.3 Teor de cinzas total (TC)

Os resultados de cinzas para os CAs produzidos estão expressos na tabela abaixo: onde CA é o tipo de carvão usado, TARA é o peso do cadinho, PA é o peso da amostra, P+T é o peso da amostra mais o peso do cadinho após 3 horas e TC é o teor de cinzas em percentual. O cálculo se dá pela seguinte fórmula:

$$TC(\%) = \frac{(P + T - TARA)}{PA} \times 100$$

Fonte: Adaptado por Samanta Trindade, 2018

Tabela 5 – Valores em percentuais do teor de cinzas totais

CA	TARA(g)	Teor de Cinzas (TC)			MÉDIA(%)
		PA(g)	P+T(g)	TC(%)	
CAF	28,3557	0,1031	28,3662	10,18	<b>9,39</b>
	25,5913	0,1023	25,6001	8,60	
CAQ40	27,7320	0,1013	27,6006	42,74	<b>43,37</b>
	27,4880	0,1025	27,5331	44,00	
CAQ80	31,2736	0,1047	31,3176	42,02	<b>41,73</b>
	28,4607	0,1016	28,5028	41,44	

Fonte: Autor, 2018

O resultado médio, quando comparado com os resultados de Ramos (2005) e Pinto (2011), indica que o TC para o CAF, CAQ40 E CAQ80 é maior tanto para o carvão do caroço do açaí (3,28 %) quanto para carvão do caroço do buriti (8,416 %).

### 5.4 Influência do diâmetro da partícula

O tamanho da partícula é um parâmetro de fundamental importância, visto que existem comprovações que a variação do diâmetro influencia no potencial de adsorção. Os materiais adsorventes que apresentam menor partícula apresentam melhor capacidade de retenção devido aos minúsculos canais, isso influencia diretamente na superfície de contato entre o adsorvente

e o adsorvato (TARLEY e ARRUDA, 2004). Diante disso usou-se duas peneiras com diâmetros diferentes a de 20 e 60 mesh com 0,841 mm e 0,250 mm respectivamente, o que trouxe uma possibilidade de estudo maior em relação a comparações de resultados.

### 5.5 Resultados de adsorção em percentuais

Tabela 6 - Adsorção do alumínio usando o CAF de acordo com sua granulometria

AMOSTRA	ALUMÍNIO DA ÁGUA	CAF 20 MESH	ADSORÇÃO	CAF 60 MESH	ADSORÇÃO
	mg/l	mg/l	%	mg/l	%
1	0,776	0,589	24,10	0,054	93,04
2	0,771	0,582	24,51	0,054	93,00
3	0,765	0,577	24,58	0,054	92,94
<b>MÉDIA</b>	<b>0,771</b>	<b>0,583</b>	<b>24,40</b>	<b>0,054</b>	<b>92,99</b>

Fonte: Autor, 2018

Tabela 7 - Adsorção do alumínio usando o CAQ40 de acordo com sua granulometria

AMOSTRA	ALUMÍNIO DA ÁGUA	CAQ40- 20 MESH	ADSORÇÃO	CAQ40 - 60 MESH	ADSORÇÃO
	mg/l	mg/l	%	mg/l	%
1	0,776	0,596	23,20	0,438	26,51
2	0,771	0,591	23,35	0,423	28,43
3	0,765	0,587	23,27	0,419	28,62
<b>MÉDIA</b>	<b>0,771</b>	<b>0,591</b>	<b>23,27</b>	<b>0,427</b>	<b>27,85</b>

Fonte: Autor, 2018

Tabela 8 - Adsorção do alumínio usando o CAQ80 de acordo com sua granulometria

AMOSTRA	ALUMÍNIO DA ÁGUA	CAQ80- 20 MESH	ADSORÇÃO	CAQ80- 60 MESH	ADSORÇÃO
	mg/l	mg/l	%	mg/l	%
1	0,776	0,515	33,63	0,563	23,20
2	0,771	0,503	34,76	0,559	23,35
3	0,765	0,498	34,90	0,554	23,27
<b>MÉDIA</b>	<b>0,771</b>	<b>0,505</b>	<b>34,43</b>	<b>0,559</b>	<b>23,27</b>

Fonte: Autor, 2018

A Tabela 6, 7 e 8 apresentam percentuais da remoção de Al realizados em triplicatas para cada tipo de CA de acordo com duas faixas de granulometria que foram utilizadas. O que obteve melhor resultado em relação a adsorção foi o CAF na granulometria 60 mesh que conseguiu reduzir mais de 90% de Al, em seguida o CAQ80 na faixa de 20 mesh com mais de 30% de remoção, por último o CAQ40 na faixa de 60 mesh que reduziu em média 27%.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção e estudo experimental do carvão ativado da casca da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa L.*), possibilitou fazer uma caracterização e descobrir o potencial de cada CA produzido, através das análises de pH, cinzas, alumínio e segregação de granulometria, abriu-se um leque de possibilidades com relação a adsorção. Ressaltando que o estudo atingiu todos os objetivos propostos iniciais, levando em conta que esse é o primeiro estudo aprofundado do Brasil, dando mérito a produção de CA usando a casca da castanha como adsorvente do alumínio em águas de poços semi-artesianos, com resultados inéditos, essa pesquisa buscou uma alternativa de tratamento e remoção de metais das águas, de forma eficiente e economicamente viável.

As análises demonstraram que o tamanho da partícula, o material precursor usado na produção do CA e tempo de mufla influenciam no tipo de carvão produzido e no seu potencial como adsorvente. Os produzidos com menor granulometria que foram os que passaram na peneira de 60 mesh com 0,250mm obtiveram resultados mais significativos em relação aos de 20 mesh com 0,841mm.

O CA que mais se destacou foi o CAF, que ultrapassou os 90% de adsorção do alumínio presente na amostra de água do poço semi-artesiano selecionado, isso se deve também ao fato de ter sido produzido totalmente natural, sem adições de produtos químicos. Um grande avanço quando se propõe uma produção de carvão ativado de baixo custo para tratamento de água, visto que grande parte da população precisa ser atingida de maneira significativa.

Reduzir o alumínio que em altas concentrações ocasiona sérios riscos à saúde dos seres humanos, reduzir os impactos negativos que o descarte inadequado dessa massa residual ocasiona, empregando esses resíduos para outros fins contribui para uma sociedade sustentavelmente equilibrada, evitando assim desperdícios e inovando em tecnologias limpas.

Pretende-se futuramente estudar o potencial de adsorção do CAF em outros metais, como: ferro, cobre e chumbo. Verificar também a capacidade de remoção de cor em amostras de efluentes.

## REFERÊNCIAS

### **ABNT-Mesh/Tyler**

Disponível em: <<http://www.bertel.com.br/tabela%20de%20abertura.pdf>> Acesso em: 01 maio 2018.

ALBERTI, G., D'Agostino, G., Palazzo, G., Biesuz, R., e Pesavento, M. (2005). **Aluminium speciation in natural water by sorption on a complexing resin. Journal of Inorganic Biochemistry**, 1779-1787.

ALSTON, Lee J.; MUELLER, Bernardo. **Property rights, violence and the State. Draft prepared for The Handbook of the New Institutional Economics (mimeo)**. Nov. 14, 2002.

### **Aluminum, Aluminon Method 8012- Powder Pillows- Hach**

Disponível em: <<https://www.hach.com/asset-get.download.jsa?id=7639983675>>  
Acesso em: 10 abr. 2018

ARAÚJO, L. A. **Estudos das Propriedades Físicas, Químicas e Termofísicas de Óleos Regionais e suas Misturas** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Pará, p. 96, 2008.

BALAZINA, A.; CREDÊNCIO, J. E. **Brasil desperdiça 45% da água captada**. Folha de São Paulo, São Paulo, 07/03/2018. Folha online. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/cotidiano/ult95u346251.shtml>>. Acesso em: 03 mar. 2018

BANSAL, R. C.; GOYAL, M. **Activated Carbon Adsorption**. New York: Taylor & Francis, 2005.

BASTOS M. C. (2007). **A Neurotoxicidade do Alumínio e Sistemas Neurais de Fosforilação**. Universidade de Aveiro - Departamento de Biologia.

BIDONE, E. D.; CASTILHOS, Z. C.; SANTOS, T. J. S.; SOUZA, T. M. C.; LACERDA, L. D. Fish contamination and human exposure to mercury in Tartarugalzinho River, Amapa State, Northern Amazon, Brazil. A screening approach. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 95, p. 9-15, 1997a

BORBA, C. E. **Modelagem da remoção de metais pesados em coluna de adsorção de leito fixo**. Campinas, 2006. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, 2006.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005

BRANDÃO, P. C.; **Avaliação do uso do bagaço de cana como adsorvente para remoção de contaminantes derivado do petróleo, de efluentes**. Dissertação (Mestrado em engenharia Química). Faculdade de Engenharia química da UFU. Uberlândia. p. 160, 2006.

BRASIL. **Manual de saneamento**. 3. ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2007.

CASTANHA DO BRASIL. Imagens Disponível: <https://www.embrapa.br/amazonia-ocidental/busca-de-imagens/-/midia/2053001/arvore-da-castanha-do-brasil> em Acesso em 26 maio 2018

CHEN, J. P.; WANG, X. Y. Removing copper, zinc, and lead ion by granular activated carbon in pretreated fixed-bed columns. *Separation and Purification Technology*. v.19, p. 157-167, 2000.

CLAUDINO, A. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes**. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CONAMA. (2005). **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html> > Acesso em: 03 mar. 2018

COSTODES, V. C. T. et al. Removal of Cd (II) and Pb (II) ions, from aqueous solutions, by adsorption onto sawdust of *Pinus sylvestris*. *Journal of Hazardous Materials*, v. B105, p. 121-142, 2003.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. Di B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005 v.2. cap.18: Precipitação e Adsorção, p. 1495-535.

ECKHARDT, R. R.; DIEDRICH, V. L., FERREIRA, E. R.; STROHSCHOEN, E.; DEMAMAN, L. C. **Mapeamento e avaliação da potabilidade subterrânea do município de Lajeado, RS, Brasil**. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 58-80, 2008.

FELLEMBERG, G. *Introdução aos Problemas de Poluição Ambiental*. Ed. Pedagógica e Universitária. São Paulo, 1980

FERNANDES, R. **Adsorventes alternativos para remoção de fenol em solução aquosa**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

FOUST, A. S. et al. **Princípios das Operações Unitárias**. Editora Guanabara dois, Rio de Janeiro, 1982.

FRANHI, J. G. **A utilização de turfa como adsorvente de metais pesados: O exemplo da contaminação da bacia do rio Ribeira de Iguape por chumbo e metais associados**. São Paulo. Tese (Doutorado em Geoquímica e geotectônica). Universidade de São Paulo, 2004.

Heller, Léo e Lucio de Padua, Valte. **Abastecimento de água para consumo humano**. Editora UFMG- 2006.

Hemat, R. (2009). **Water**. Urotext.

HOMMA, A. K. O. Cemitério das Castanheiras. *Ciência hoje*. São Paulo, v.34, n. 202. Março: 2004.

IMRAY, P., MOORE, M. R., Callan, P. W., e Lock, W. (1998). **Aluminium: Report of an International Meeting**. Australia: National Environmental Health Forum

INSTITUT DE VEILLE SANITAIRE. (2003). **Evaluation des risques sanitaires liés à l'exposition da la population française à l'aluminium**. Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments

JANKOWSKA, H.; SWIATKOWSKI, A.; CHOMA, J. **Active Carbon**. Chichester: Ellis Horwood, 1991

JIMENES, R. S.; DAL BOSCO, S. M.; CARVALHO, W. A. Remoção de metais pesados de efluentes aquosos pela zeólita natural esolecita: influência da temperatura e do pH na adsorção em sistemas mononucleares. **Química Nova**, v.27, n.5, p.734-738, 2004.

KREWSKI, D., YOKEL, R. A., Nieboer, E., Borchelt, D., Cohen, J., Harry, J., et al. (2007). **Human Health Risk Assessment for Aluminium, Aluminium Oxide, and Aluminium Hydroxide**. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*, 10, 1-269.

**Lei 9.433 de 1997 POLÍTICA NACIONAL DOS RECURSOS HÍDRICOS**. Dispõe sobre Instrumentos de Gestão dos Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/gestao-da-agua/sistema-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos>>. Acesso em: 03/03/2018

LETTERMAN, R. D. *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies*. 5 ed. New York: McGraw-Hill: American water Works Association, 1999.

MAIA, et al. **Uso do carvão ativado de rejeitos dos frutos amazônicos na adsorção do alumínio da água de poços artesianos**.

Disponível: [https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=315&ano=\\_sexto](https://siambiental.ucs.br/congresso/getArtigo.php?id=315&ano=_sexto)  
Acesso em: 30 abr. 2018

MANAHAN, S. E. (2005). **Environmental Chemistry - Eighth Edition**. Estados Unidos da América: CRC Press LLD

MENDES, B., e Oliveira, J. F. **Qualidade da água para consumo humano**. Portugal: LIDEL, Edições Técnicas, Lda. (2004).

MENEZES, T. J. B. Castanha do Pará na Industria de Alimentos e Bebidas. v. 04, n. 05, p. 42-43, 1968.

MERIAN, E., Anke, M., Ihnat, M., e Stoeppler, M. (2004). **Elements and Their Compounds in the Environment**. Alemanha: Wiley-VCH Verlag Gmbh & Co. KGaA

MOHAN, D.; PITTMAN Jr, C. U. Activated carbons and low cost adsorbents for remediation of tri- and hexavalent chromium from water. **Journal of Hazardous Materials**. v. 137, p.762-811, 2006.

MUDGAL, V.; MADAAN, N.; MUDGAL, A.; SINGH, R.B.; MISHRA, S. Effect of toxic metals on human health. *The Open Nutraceuticals Journal*, v. 3, p. 94-99. 2010.

NEVES, C. A. A Castanha do Pará. *Revista de Agricultura*, outubro, novembro e dezembro, 1987.

NOWICKI, H. G.; GREENBANK, M.; MORRICAL, R. **Application of ASTM activated carbon test methods to utility fly ash.** Disponível em: <<http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/02/ubc/nowickisummary.pdf>>. Acesso em 01 maio 2018.

OLIVEIRA, J. M. C.; LOBO, P. C. **Avaliação do Potencial Energético de Resíduos de Biomassa Amazônica.** *Enc. Energ. Meio Rural*. An. 4. p.1-8, 2002.

PINTO, M. V. S. **Obtenção e caracterização de carvão ativado do caroço do buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.) para avaliar o processo de adsorção de uma Solução de Cu II.** Belém, PA, 2009. Dissertação (Mestrado) Universidade de Federal do Pará, 2011.]

PHILLIPPI, Jr. A. **Saneamento, Saúde e Ambiente:** fundamentos para um desenvolvimento sustentável. São Paulo: Barueri, 2005.

**PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html)> Acesso em: 03 mar. 2018

RAMALHO, R. S, *Introduction to Wastewater Treatment Processes*, New York, p. 705, 1977

RAMOS, M. A. B. **Remoção de Íon Cr (III) de Solução Aquosa por Adsorção e Biossorção em Carvão Ativado e Levedura Imobilizada.** Belém, 2005. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Pará, 2005.

REBOUÇAS, A.C.(org.). **Águas doces no Brasil:** capital ecológico, uso e conservação. 2.ed.rev. São Paulo: Escrituras, 2002, 703p.

SÁNCHEZ, J.C.D.FERNANDES, I.D. ; MERGEL, N.M.D. **Meio Ambiente e Carvão - Impactos da exploração e utilização.** Cap. 9. Amostragem e Caracterização Físico-Química. Fundação Estadual de Proteção Ambiental, Porto Alegre, p.175-210, (2002).

SCHMIDT, Elisabete I. **Estudo e qualidade das águas subterrâneas na região sudoeste do município de Estrela – RS.** 2006. 91 f. Monografia (Graduação) – Curso de Ciências Biológicas, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2006.

SCHNEIDER, R. M. et al. Adsorption of chromium ions in activated carbon. **Chemical Engineering Journal**, v. 132, p. 355-362, 2007

SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W. *Química Inorgânica*. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003

SILVA, R. C. A.; ARAÚJO, T. M. **Qualidade da água do manancial subterrâneo em áreas urbanas de Feira de Santana (BA)**. *Ciência & Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 8, n. 4, p. 1019-1028, 2003

SNOEYINK, V., Adsorption of organic compounds. In: **WATER QUALITY AND TREATMENT: A HANDBOOK OF COMMUNITY WATER SUPPLIES**. **Mc Graw Hill**, Nova York, EUA, p. 781-867, 1990.

SOARES, A. G; **Adsorção de Gases em Carvão Ativado de Celulignina**. Campinas: Instituto de Física “Gleb Wataghin” da UNICAMP, (Tese, Doutorado em Física). p.136, 2001

SOARES, R.A.R.; **Adsorção em carbono ativado do ouro contido em lixívias de tiocianato**, Dissertação (Mestrado), DCMM, PUC-Rio 1996

SOUZA, A. H. Castanha do Pará - estudos botânico, químico e tecnológico. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, serviço de Informação Agrícola, v. 23, 1963.

SOUZA, P. F. Tecnologia de Produtos Florestais. Imprensa Nacional - Rio de Janeiro. p. 274-288, 1945. 1019-1028, 2003.

SOUZA, R. S. Adsorção de cromo (VI) de soluções diluídas, utilizando CAG por Sistema em Batelada e em Leito Fixo. Belém, 2008. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Pará, 2008.

TARLEY, C.R.; ARRUDA, M.A.; Biosorption of heavy metals using Rice milling by-products. Characterization and application for removal of metals from aqueous effluents, **Chemosphere**, v. 54, p. 987 -995, 2004.

TAVARES, T. M.; CARVALHO, F. M. avaliação de exposição de populações humanas a metais pesados no ambiente: exemplos do Recôncavo Baiano. **Química Nova**, v. 15, n. 2, p. 147-155, 1992

TUNDISI, José Galizia. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. São Carlos: RIMA, 2.ed.,2003.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2.ed. v.1.Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA, Universidade Federal de Minas Gerais.

YANG, R. T. **Adsorbents: Fundamentals and applications**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. p. 410.