



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL**

**LETÍCIA DOS SANTOS COSTA**

**UTILIZAÇÃO DO CAROÇO DE AÇAÍ COMO LEITO FILTRANTE  
NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO E  
RESIDUÁRIA.**

Belém-Pará  
2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL**

**LETÍCIA DOS SANTOS COSTA**

**UTILIZAÇÃO DO CAROÇO DE AÇAÍ COMO LEITO FILTRANTE  
NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO E  
RESIDUÁRIA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC/UFPA) para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Rui Guilherme Cavaleiro de Macedo Alves.

Área de concentração: Recursos hídricos e Saneamento ambiental.

Belém, Pará

2014

## **Letícia dos Santos Costa**

Utilização do caroço de açaí como leito filtrante no tratamento de água de abastecimento e residuária.

Dissertação de mestrado apresentada ao programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC/UFPA) para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Aprovado em: 04 /06 /2014

### **BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. Rui Guilherme Cavaleiro de Macedo Alves – Orientador  
Doutor em Engenharia Ambiental  
Universidade Federal do Pará

---

Prof<sup>a</sup>.Dr. Luiza Carla Girard Mendes Teixeira  
Doutora em Ciências  
Universidade Federal do Pará

---

Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes  
Doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido  
Universidade Federal do Pará

---

Prof. Dr. Luciano Matos Queiroz  
Doutor em Engenharia Hidráulica e Sanitária  
Universidade Federal da Bahia

## **DEDICATÓRIA**

Primeiramente a Deus, por ser o Autor de minha vida e minha fonte inspiradora. Ao meu esposo e companheiro de todas as horas Akilson Medeiros, que entrou em minha vida para me ajudar a crescer como pessoa, dando sempre o seu apoio incondicional para o meu progresso em todos os sentidos e aos meus amados pais João Duarte da Costa e Maria do Carmo dos Santos Costa, por terem me dado à vida e me ensinado a vivê-la com dignidade, a vocês dedico este trabalho com muito amor e carinho.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Pará, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao Prof. Dr. Rui Guilherme Cavaleiro de Macedo Alves, pela atenção e apoio durante o processo de definição e orientação.

Ao Prof. Dr. Claudio José Cavalcante Blanco, Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, pelo apoio e preocupação durante o curso de mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas – LAMAG, por disponibilizar o espaço para o desenvolvimento pesquisa.

À Companhia de Saneamento do Pará- COSANPA, pela autorização de uso de sua unidade de tratamento de esgoto na pesquisa.

Ao Comando geral da Polícia Militar do Estado do Pará, pelo apoio policial viabilizando a segurança na área dos pontos de coleta de água e esgoto.

A todos os professores do Mestrado, por compartilharem seu conhecimento.

A todos os amigos e novas amizades construídas no curso de Mestrado, em especial as amigas Vânia Martins, Susana Rodrigues e Márcia Uchoa.

Aos bolsistas de iniciação científica, Bruno Cunha e Mônica Silva por todo o auxílio fornecido para a execução deste trabalho.

A todos que, direta e indiretamente, sempre torceram por mim.

*“Deus não escolhe os capacitados, Ele capacita os escolhidos”*  
**(Santo Agostinho)**

## RESUMO

Esta pesquisa consistiu em avaliar a aplicação dos resíduos gerados pelo despulpamento do açaí para a produção de um carvão alternativo para utilização como leito filtrante no processo de tratamento de água de abastecimento e água residuária, conferindo ao resíduo valor agregado e destinação final adequada. O trabalho foi desenvolvido em 4 etapas, primeiramente foi feita a coleta e a preparação dos caroços, para posterior caracterização do carvão alternativo, montagem dos filtros e verificação da qualidade da água e do esgoto tratado. O sistema experimental piloto foi constituído de duas colunas de tubos de PVC, com um diâmetro de 100 mm, com leito filtrante alternativo, um para o tratamento de águas de abastecimento e outro para pós-tratamento de esgoto, ambos com 1,0 m de altura. Utilizou-se apenas uma única camada de leito filtrante de 30 cm de altura de carvão alternativo em cada filtro que foi alimentado com 5,0 L de água bruta (AB), obtidos na entrada da Estação de Tratamento de Água e 5,0 L de esgoto tratado (ET) obtidos na saída da Estação de Tratamento de Esgoto de Vila da Barca. As análises físico-químicas da água e do esgoto filtrado pelo carvão alternativo eram realizadas a cada 24hs e 48hs, observando os tempos de contato que apresentaram melhor adsorção das partículas. O monitoramento dos filtros com leito filtrante de caroço de açaí calcinado apresentou bom desempenho, principalmente, no processo de retenção de Sólidos Suspensos com eficiência de 23%, na remoção de Cor com eficiência de 51% e Turbidez com eficiência de 32% para água. O tratamento de esgoto no filtro alternativo apresentou eficiência na remoção de 72% para nitrogênio amoniacal, 55% de eficiência na remoção de matéria orgânica representado pela DQO e 48% de eficiência de remoção de sólidos suspensos. A avaliação mediante testes de hipóteses, aplicado pra avaliar a equivalência entre os valores médios dos pares de variáveis (24hs e 48hs) representativas dos parâmetros físico-químicos estudados na filtração alternativa para água e esgoto revelou equivalência entre os pares de: pH, Turbidez, Dureza (mg-CaCO<sub>3</sub>/L), Dureza (mg-MgCO<sub>3</sub>/L), ST e SS (referente a filtração da água); Fósforo Total, ST, SD e SF (referente a filtração do esgoto). Foi possível afirmar que não houve variação considerável nos valores médios dessas variáveis entre os tempos de contato (24hs e 48hs). Também, foi possível afirmar que o tempo de contato de 48hs provocou reduções mais acentuadas nas concentrações das variáveis, Cor (para água); N-Amoniacal, DQO e SS (para esgoto). O tempo de contato de 48hs foi o mais eficiente para a filtração alternativa por ter conseguido promover reduções significativas em algumas variáveis estudadas.

**Palavra Chave:** açaí, carvão alternativo, filtração alternativa, água, esgoto.

## ABSTRACT

This research was to assess the implementation of the waste generated by pulping açai for the production of an alternative coal for use as a filter bed in the treatment of water supply and wastewater process, giving added value and proper waste disposal. The study was conducted in 4 steps, first was done collecting and preparing the stones for further characterization of alternative coal, filter assembly and verification of water quality and sewage treatment. The experimental pilot system was composed of two columns of PVC pipe with a diameter of 100 mm, with alternate filter bed, one for the treatment water supply and the other for post-treatment of sewage, both with 1.0 m time. Was used only a single layer of the filter bed 30 cm in each alternate carbon filter which was fed with 5.0 L of raw water (AB), the input obtained from the Water Treatment Plant and 5.0 L treated sewage (ET) obtained at the output of the Vila da Barca sewage Treatment Plant. The physico-chemical analysis of water and sewage filtered by alternate coal were taken every 24 hours and 48 hours, observing the times of contact that showed better adsorption of the particles. Monitoring of filters with filter bed of lump calcined açai performed well, especially in the case of Suspended Solids retention with 23% efficiency in removing color with efficiency of 51% and Turbidity with efficiency 32% for water. Sewage treatment showed the alternate filter removal efficiency of 72% for ammonia nitrogen, 55% efficiency in removing organic matter represented by the COD and 48% removal efficiency of suspended solids. The review by hypothesis tests applied to assess the equivalence between the mean values of representative pairs of variables (24h and 48h) of physico-chemical parameters studied in alternative filtration for water and sewage showed equivalence between pairs of pH, Turbidity, hardness (mg-CaCO<sub>3</sub> / L) hardness (mg-MgCO<sub>3</sub> / L), TS and SS (relative to water filtration); Total phosphorus, ST, SD and SF (referring filtration of sewage). It was possible to state that there was considerable variation in the average of these variables between the contact times (24h and 48h) values. Also, it was possible to state that the contact time of 48 hours caused greater reductions in the concentrations of variables, Color (for water); Ammonia-N, COD and SS (sewage). The contact time of 48 hours was the most efficient alternative to filtration have gotten promote significant reductions in some variables.

**Keywords:** açai, alternate coal, alternative filtration, water, sewer.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1: Fluxograma do aproveitamento do fruto do açazeiro. ....	21
Figura 3.2: Evolução da produção de açaí no Pará de 2003 a 2012.....	22
Figura 3.3: Os 10 maiores produtores de açaí do Pará 2003 – 2009.....	23
Figura 3.4: Evolução das Exportações de Açaí do Pará (U\$\$ 1) .....	24
Figura 3.5: Descarte inadequado de caroços de açaí nas ruas de Belém .....	27
Figura 3.6: Esquema apresentando os diferentes tipos de poros em um sólido quanto à forma: (T) poro de transporte, (A) poro aberto, (F) poro fechado e (G) poro tipo gaiola.....	35
Figura 3.7: Isotermas de adsorção.....	40
Figura 3.8: Isotermas de adsorção classificadas por Brunauer <i>et al.</i> (1936).....	41
Figura 3.9: Micrografias MEV de serragem de <i>T. grandis</i> antes (A) e depois (B) da carbonização (500°C, 60min, impregnação a 200%) .....	44
Figura 3.10: Endocarpo de noz macadâmia pirolisado (A) e (B) impregnado e posteriormente pirolisado (C) .....	44
Figura 3.11: Microestrutura externa do carvão ativado preparado nas temperaturas intermediárias de 400°C (A) e 300°C (B). Ampliado 500 vezes.	45
Figura 3.12: Fotomicrografia do carvão ativado de açaí com magnificação de 600 e 1000X.....	46
Figura 4.1: Mapa de localização do lago Bolonha.....	54
Figura 4.2 - Localização da ETE de Vila da Barca .....	55
Figura 4.3: Fluxograma esquemático da ETE Vila da Barca e a localização do ponto de amostragem .....	56
Figura 4.4: Fluxograma das fases da pesquisa.....	57
Figura 4.5: A – antes e B – após secagem natural do material.....	58
Figura 4.6: Forno Rústico .....	58
Figura 4.7: A - caroço de açaí antes da calcinação; B - caroço de açaí após calcinação e C - local de armazenamento.....	59
Figura 4.8: Componentes do filtro .....	62
Figura 4.9: Desenho esquemático e fotografia do filtro construído .....	63
Figura 5.1: Fluxograma de monitoramento experimental do sistema.....	65

Figura 5.2: Fluxograma de análise dos resultados (Estatística Analítica - Fase IV).....	67
Figura 6.1: Box-plot da variável pH antes e após filtração alternativa.....	75
Figura 6.2: Box-plot da variável turbidez antes e após filtração .....	76
Figura 6.3: Box-plot da variável cor antes e após filtração alternativa .....	77
Figura 6.4: Box-plot da variável condutividade elétrica antes e após filtração alternativa.....	78
Figura 6.5: Box-plot da variável dureza (mg-CaCO <sub>3</sub> /L) antes e após filtração alternativa.....	79
Figura 6.6: Box-plot da variável Sólidos Totais antes e após filtração .....	81
Figura 6.7: Box-plot da variável Sólidos Dissolvidos antes e após filtração alternativa.....	81
Figura 6.8: Box-plot da variável Sólidos Suspensos antes e após filtração alternativa.....	81
Figura 6.9: Box-plot da variável pH antes e após filtração alternativa.....	83
Figura 6.10: Box-plot da variável nitrogênio amoniacal antes e após filtração alternativa.....	84
Figura 6.11: Box-plot da variável nitrato antes e após filtração alternativa .....	85
Figura 6.12: Box-plot da variável fósforo total antes e após filtração alternativa .....	86
Figura 6.13: Box-plot da variável demanda química de oxigênio antes e após filtração alternativa .....	87
Figura 6.14: Box-plot da variável sólidos totais antes e após filtração alternativa .....	88
Figura 6.15: Box-plot da variável sólidos suspensos antes e após filtração alternativa.....	88
Figura 6.16: Box-plot da variável sólidos dissolvidos antes e após filtração alternativa.....	89
Figura 6.17: Box-plot da variável sólidos fixos antes e após filtração alternativa .....	89
Figura 6.18: Box-plot da variável sólidos voláteis antes e após filtração alternativa.....	89

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 3.1: Classificação de poros segundo a IUPAC.....	35
---	----

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 3.1: Principais diferenças existentes entre a adsorção física e adsorção química.....	37
Tabela 3.2: Locais de adição de suspensão de CAP.....	49
Tabela 4.1: Metodologias, Referências e Limites de detecção (LD), aplicados no Multiusuário de Tratabilidade de Águas (LAMAG), para amostras de água .....	64
Tabela 4.2: Metodologias, Referências e Limites de detecção (LD), aplicados no Multiusuário de Tratabilidade de Águas (LAMAG), para as amostras de esgoto .....	64
Tabela 6.1: Teor de umidade dos caroços de açaí .....	71
Tabela 6.2: Teor de cinzas dos caroços de açaí.....	72
Tabela 6.3: Densidade a granel dos caroços de açaí antes e após calcinação .....	73
Tabela 6.4: Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis monitoradas do filtro marajoara, contendo água .....	74
Tabela 6.5: Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis monitoradas do filtro marajoara, contendo esgoto .....	74
Tabela 6.6: Resultados do processo de filtração para água.....	82
Tabela 6.7: Resultados do processo de filtração para pós-tratamento de esgoto. ....	90
Tabela 6.8: Resultado do teste de normalidade nos dados amostrais das variáveis físico-químicas analisadas na água antes e após a filtração alternativa, para os TC de 24hs e 48hs.....	92
Tabela 6.9: Resultado do teste de normalidade nos dados amostrais das variáveis físico-químicas analisadas no esgoto antes e após a filtração alternativa, para os TC de 24hs e 48hs.....	93

Tabela 6.10: Resultado do teste de hipóteses, paramétrico e não-paramétrico, aplicado nos pares de variáveis representativas da filtração alternativa na água para os TCs de 24hs e 48hs .....	97
Tabela 6.11: Resultado do teste de hipóteses, paramétrico e não-paramétrico, aplicado nos pares de variáveis representativas da filtração alternativa do esgoto para os TCs de 24hs e 48hs.....	98

**LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

APHA	American Public Health Association
AB	Água Bruta
APA	Área de Proteção Ambiental
BET	Brunauer-Emmett-Teller
CA	Carvão Ativado
CAG	Carvão Ativado Granulado
CAP	Carvão Ativado em pó
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETA	Estações de Tratamento de Água
ETE	Estações de Tratamento de Esgoto
ET	Esgoto Tratado
IAM	Índice de Azul de Metileno
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada
LAMAG	Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas
LD	Limite de Detecção
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
RMB	Região Metropolitana de Belém
SAGRI	Secretaria de Estado de Agricultura
SESAN	Secretaria de Saneamento
SD	Sólidos Dissolvidos
SS	Sólidos Suspensos
ST	Sólidos Totais
SF	Sólidos Fixos
SV	Sólidos Voláteis
TC	Tempo de Contato
UFPA	Universidade Federal do Pará

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....</b>	<b>XIV</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>19</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>20</b>
3.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO AÇAÍ.....	20
3.2 PROBLEMATICA DO DESTINO INADEQUADO DOS CAROÇOS DE AÇAÍ.....	25
3.3 CARVÃO ATIVADO.....	27
3.4 PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO.....	30
3.5 CARACTERIZAÇÃO DO CA.....	34
<b>3.5.1 Porosidade.....</b>	<b>34</b>
<b>3.5.2 Adsorção em CA.....</b>	<b>36</b>
3.5.2.1 Equilíbrio de adsorção.....	38
<b>3.5.3 Propriedades Físicas do CA.....</b>	<b>43</b>
<b>3.5.4 Propriedades Químicas do CA.....</b>	<b>46</b>
3.6 USO DO CARVÃO ATIVADO NO TRATAMENTO DE ÁGUA.....	48
3.7 USO DO CARVÃO ATIVADO NO TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA.....	50
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>53</b>
4.1 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE COLETA DE ÁGUA E ESGOTO TRATADO.....	53
<b>4.1.1 Lago Bolonha.....</b>	<b>54</b>
<b>4.1.2 ETE Vila da Barca.....</b>	<b>54</b>
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL.....	56

4.3 DELINEAMENTO DAS FASES EXPERIMENTAIS .....	57
<b>4.3.1 Coleta e preparação de caroços .....</b>	<b>57</b>
<b>4.3.2 Caracterização física e química do carvão alternativo .....</b>	<b>59</b>
4.3.2.1 Teor de umidade da biomassa .....	60
4.3.2.2 Densidade da biomassa .....	60
4.3.2.3 Teor de cinzas da biomassa.....	61
<b>4.3.3 Montagem dos filtros .....</b>	<b>61</b>
<b>4.3.4 Qualidade da água e do esgoto tratado .....</b>	<b>63</b>
<b>5 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>65</b>
5.1 ANÁLISE DA ETAPA II (CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO ALTERNATIVO) .....	66
5.2 ANÁLISE DA ETAPA IV (QUALIDADE DA ÁGUA E DO ESGOTO TRATADO PELO FILTRO ALTERNATIVO) .....	66
<b>5.2.1 Estatística Descritiva .....</b>	<b>66</b>
<b>5.2.2 Estatística Analítica.....</b>	<b>66</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>70</b>
6.1 RESULTADOS DAS VARIÁVEIS ANALISADAS NA ETAPA II (CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO CARVÃO ALTERNATIVO) .....	70
<b>6.1.1 Teor de Umidade .....</b>	<b>70</b>
<b>6.1.2 Teor de Cinzas .....</b>	<b>71</b>
<b>6.1.3 Densidade a granel do caroço do açaí .....</b>	<b>72</b>
6.2 RESULTADOS DAS VARIÁVEIS ANALISADAS NA ETAPA IV (QUALIDADE DA ÁGUA E DO ESGOTO TRATADO PELO FILTRO ALTERNATIVO) .....	73
<b>6.2.1 Resultado do processo de filtração para água bruta .....</b>	<b>75</b>
<b>6.2.2 Resultado do processo de filtração para o esgoto pós-tratamento.....</b>	<b>82</b>
<b>6.2.3 Avaliação dos resultados da filtração alternativa para água bruta e para o esgoto pós-tratamento através da Estatística Analítica .....</b>	<b>91</b>
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>100</b>
<b>8 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>102</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>103</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Muitas das atividades econômicas geram uma quantidade elevada de resíduos de diferentes origens, que independente da intensidade e propriedades físico-química, acarreta alteração no meio e necessitam de destinação e tratamento apropriado (MACEDO *et al.*, 2006; HAMEED, 2009).

A agroindústria produz ao longo de sua cadeia uma grande quantidade de resíduos, o que gera perda de divisas, além de inúmeros problemas ambientais. No entanto, é desejável o aproveitamento integral desses resíduos como matéria-prima para a formulação subprodutos, tais como a produção de carvão ativado, a partir dos resíduos gerados pelo processo agroindustrial do açaí. A utilização de outras biomassas naturais como aditivos ou reforços para produtos poliméricos vem aumentando significativamente, devido a fatores como o alto preço das fibras sintéticas e do carvão ativado comercial e à busca crescente por materiais de baixo custo e que sejam provenientes de fontes renováveis, possuam boas propriedades mecânicas e térmicas, e não causem danos ambientais.

De acordo com Queiroz e Melem Júnior (2008), o açaizeiro se destaca frente às outras da região Norte do Brasil por sua importância econômica, social e cultural, onde o Estado do Pará se destaca como o maior produtor e consumidor. Seu grande potencial sócio-econômico está baseado na exploração do fruto e do palmito, porém a utilização da palmeira do açaí é integral. As folhas são usadas para cobertura de casas, alimentação verde para animais e fabricação de papel; a madeira é usada em construções rústicas; as fibras das folhas são usadas para tecer chapéus, esteiras e cestas utilizadas como medida-padrão no transporte e comércio da fruta; os cachos secos são aproveitados como vassouras (SILVA & ALMEIDA, 2004).

São comercializadas cerca de 800.000 toneladas de frutos de açaí por ano, sendo que cerca de 90% deste volume corresponde aos resíduos gerados após o processamento agroindustrial do fruto (SAGRI, 2012).

Esses resíduos são constituídos basicamente do caroço e de fibras. Apesar de ser uma fonte de material lignocelulósico renovável, esse resíduo representa, atualmente, um grave problema de limpeza pública devido a grande quantidade de resíduo gerado (ROGEZ, 2000; RODRIGUES *et al.*, 2006). Os caroços são amontoados em locais inadequados tais como sarjetas e calçadas, sem nenhum tipo de aproveitamento previsto, sendo normalmente considerado “lixo”.

Diferentes métodos têm sido investigados para a utilização do resíduo da agroindústria do açaí, como a sua utilização para geração de energia (REIS *et al.*, 2002; RODRIGUES *et al.*, 2002), para produção de adubo (TEIXEIRA *et al.*, 2004) e para extração de antioxidante. Entretanto, sua caracterização física e química, e a forma para sua reutilização ainda não foram bem definidas.

Para minimizar o desperdício, uma alternativa proposta é a produção de um carvão alternativo a partir do produto residual coletado, sendo utilizado como leito filtrante para o tratamento de água de abastecimento e residuária, conferindo a esse resíduo valor agregado e uma destinação final adequada.

O carvão ativado é um material poroso de origem natural, é importante devido as suas propriedades adsorptivas, capazes de reterem substâncias contaminantes no processo de purificação de água. Esse tipo de carvão é considerado o melhor e mais estável adsorvedor de líquidos e gases (HAMEED, 2009).

Entretanto, a utilização do carvão ativado comercial no tratamento de água de abastecimento é o material mais caro utilizado na filtração. E por esse motivo há uma busca por carvão ativado a partir de produtos alternativos como os resíduos da casca do coco, o ouriço da castanha do Pará, a casca do cupuaçu e o caroço de açaí, dentre outros. Já foram realizados alguns trabalhos utilizando produtos alternativos para a obtenção de carvão ativado, obtendo resultados satisfatórios nas pesquisas.

Nesse sentido, o aproveitamento do caroço de açaí como leito filtrante em um filtro para tratamento de água e esgoto daria uma destinação final conveniente, bem como, fecharia o ciclo de vida do produto de maneira sustentável e ambientalmente correta.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a possibilidade de utilização do caroço de açaí calcinado como componente do leito filtrante para tratamento de água de abastecimento e residuária.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar as propriedades físicas e químicas do caroço de açaí e definir uma rotina de produção do carvão alternativo a partir da queima do caroço de açaí;
- Avaliar dois filtros pilotos de tubo PVC, um alimentado com água bruta e outro com esgoto tratado, utilizando o caroço de açaí calcinado como leito filtrante e realizar análises físico-químicas da água e do esgoto comparando resultados com as Normas estabelecidas;
- Avaliar mediante testes de hipótese se as características físico-químicas geradas para água e esgoto após passagem pelo filtro alternativo nos tempos de contato de 24hs e 48hs são equivalentes ou não.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DO AÇAÍ

O açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) pertence à família Arecaceae (palmeira). Nativa da América do Sul, um produto alimentar típico do Brasil, considerada como a palmeira de maior importância econômica, social e cultural da região norte (BRONDIZIO; SAFAR; SIQUEIRA. 2002).

A palmeira está distribuída no baixo Amazonas, Maranhão, Tocantins e Amapá, alcançando as Guianas e a Venezuela. A sua área de ocorrência é estimada em um milhão de hectares. Por sua cor roxa escura, seu sabor exótico, sem nota doce, somados ao apelo de ser um produto nutricional quase alega ter valor terapêutico, ganhou o interesse de consumidores do mundo inteiro (QUEIROZ e MELÉM JUNIOR. 2001; NASCIMENTO *et. al.*, 2008).

O extrativismo do açaí é uma atividade típica da agricultura familiar. É demandante de mão de obra e exige, sobretudo nos maciços de igarapés, muita habilidade para o manejo e colheita dos frutos. É fonte principal de renda desses agricultores. Cerca de 80% do açaí é obtido de extrativismo, enquanto apenas 20% provêm de açazais manejados e cultivados (BRASIL, 2006).

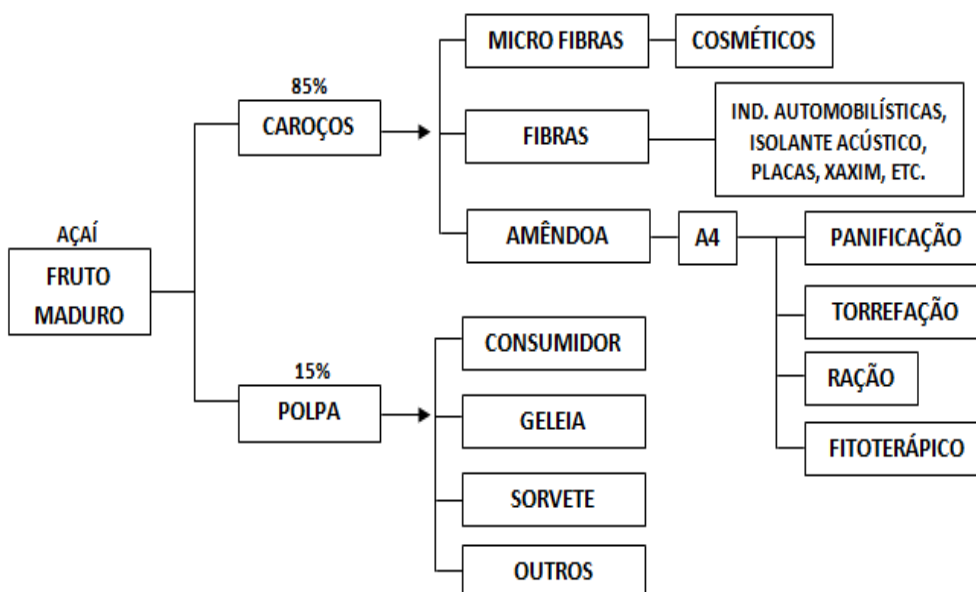
Duas espécies da palmeira predominam na floresta: o açaí de touceira (*Euterpe oleracea*), adaptado às condições das várzeas, concentrando-se no estuário amazônico, nos estados do Pará e Amapá, e o de terra-firme (*Euterpe precatoria*), prevalecente no Amazonas e demais estado (QUEIROZ e MELÉM JUNIOR. 2001; NASCIMENTO *et. al.*, 2008).

Rico em antioxidantes e aminoácidos, o açaí é tido como uma das frutas mais nutritivas da Bacia Amazônica. Essa característica, descoberta nos anos recentes por adeptos de dietas à base de produtos naturais e mais saudáveis e por desportistas, inclusive do exterior, vem fazendo crescer o consumo do produto para além da fronteira amazônica e consolidando

perspectivas promissoras no mercado nacional e internacional, atraindo o interesse de produtores e empresários pelo seu cultivo (BRASIL, 2006).

Dos frutos do açazeiro é extraído o vinho, polpa ou simplesmente açáí, como é conhecido na região. O açáí é habitualmente consumido com farinha de mandioca, associado ao peixe, camarão ou carne, sendo o alimento básico para as populações de origem ribeirinha. Com o açáí são fabricados sorvetes, licores, doces, néctares e geleias, podendo ser aproveitado, também, para a extração de corantes e antocianina. As pesquisas atuais mostram o novo fluxograma de aproveitamento do fruto do açazeiro. O caroço corresponde a 85% do peso total, do qual a borra é utilizada na produção de cosméticos; as fibras em móveis, placas acústicas, xaxim, compensados, indústria automobilística, entre outros; os caroços limpos na industrialização de produtos A4, como na torrefação de café, panificação, extração de óleo comestível, fitoterápicos e ração animal, além de uso na geração de vapor, carvão vegetal e adubo orgânico. A polpa representa 15% e é aproveitada, de forma tradicional, no consumo alimentar, sorvetes e outros produtos derivados (TINOCO, 2005). A Figura 3.1, representa o fluxograma do aproveitamento do fruto do açazeiro.

Figura 3.1: Fluxograma do aproveitamento do fruto do açazeiro

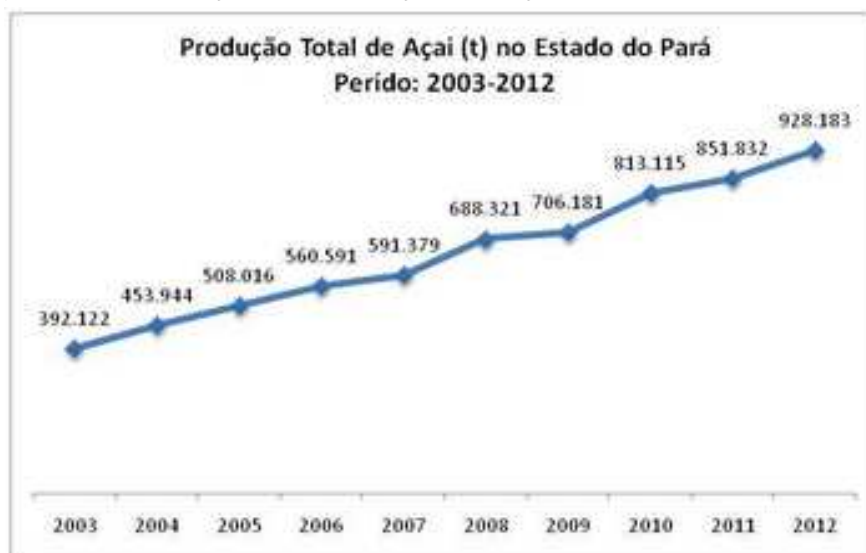


Fonte: SAGRI, 2011

O açaí, é uma fruta de produção sazonal, desaparece do mercado na entressafra, e deteriora-se em pouco tempo. Como não é ainda possível a sua conservação *in natura*, a sua industrialização constitui uma atividade promissora para a produção de polpa congelada (BRASIL, 2006).

O Pará é o maior produtor nacional de açaí (fruto). Segundo dados da Secretaria de Estado de Agricultura (SAGRI), a produção total de açaí no Pará, em 2012, foi de aproximadamente 900 mil toneladas (áreas extrativistas e plantadas), mobilizando em torno de 50 mil famílias e cerca de 300 mil pessoas nessa produção e movimentando quase R\$ 2 bilhões a cada ano, em 54 municípios, representando 70% da fonte de renda da população ribeirinha, também gera emprego para milhares de famílias que trabalham nas fábricas de processamento do fruto em Belém. A Figura 3.2 apresenta a evolução da produção de açaí no estado do Pará no período de 2003 a 2012.

Figura 3.2: Evolução da produção de açaí no Pará de 2003 a 2012

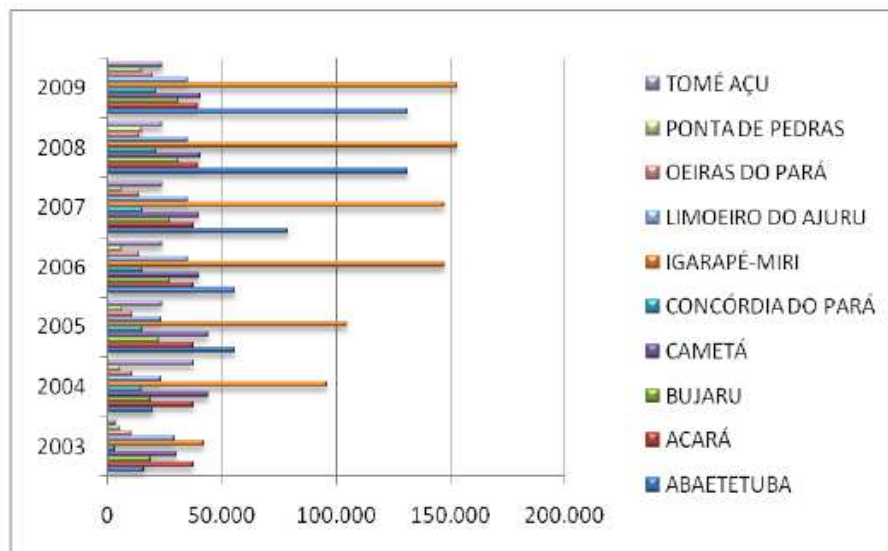


Fonte: SAGRI, 2012.

Observa-se na Figura 3.2 que a produção de açaí no estado do Pará está em constante crescimento, com um aumento de 100% no índice de produção, o que o firma como o maior produtor do país. Essa produção adquire alto nível de importância para a economia do estado, que tem o

município de Igarapé-Miri como maior produtor, conforme aponta a Figura 3.3 (IBGE, 2009).

Figura 3.3: Os 10 maiores produtores de açaí do Pará 2003 – 2009.



Fonte: IBGE 2009 *apud* SAGRI, 2010.

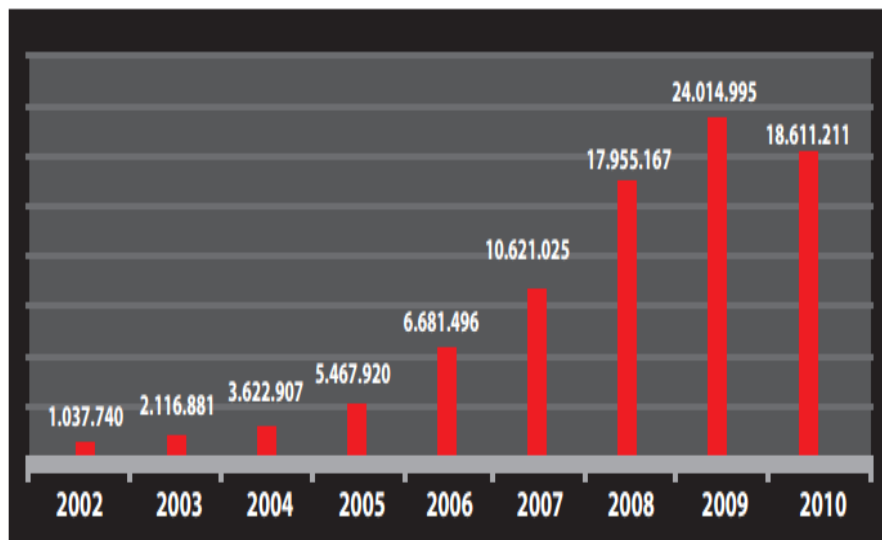
O interesse pela implementação da produção de frutos tem se dado pelo fato do açaí, antes destinado totalmente ao consumo local, ter conquistado novos mercados e se tornado em importante fonte de renda e de emprego. A venda de polpa congelada, para outros Estados brasileiros, vem aumentando significativamente com taxas anuais superiores a 30%, podendo chegar à cerca de 12 mil toneladas. As exportações de polpa ou na forma de mix, para outros países, ultrapassam mil toneladas por ano (BRASIL, 2006).

No ano de 2010, as vendas para o mercado externo da polpa de açaí atingiram o montante de US\$ 18,6 milhões, correspondendo a 65,5% do total da pauta de exportação de sucos do Estado. No mercado nacional, Rio de Janeiro e São Paulo já consomem cerca de 650 toneladas/mês de polpa e mais de 1.000 toneladas/mês na forma de mix como guaraná e granola. Em termos locais, o consumo também é expressivo, em função do hábito alimentar da população, sendo comercializados diariamente, somente na

Região Metropolitana de Belém, cerca de 470 mil litros de açaí, em mais de 3.000 pontos de venda, no período da safra (SAGRI, 2011).

O estado do Pará é o maior exportador do açaí, tendo como principais mercados países da Europa, EUA e Japão. A Figura 3.4 mostra a evolução das exportações de açaí do Pará, ocorridas entre os anos de 2002 a 2010.

Figura 3.4: Evolução das Exportações de Açaí do Pará (US\$ 1)



Fonte: SAGRI, 2011

A instalação de indústrias de processamento no Estado provocou um aumento dos preços do açaí, o que prejudicou, em certa medida, o consumidor local. Por outro lado, a maior liquidez do produto e os preços mais altos são positivos para os agricultores. O incremento das exportações, também vem provocando a elevação dos preços e a escassez do produto ao consumidor local, principalmente no período da entressafra, de janeiro a junho. O reflexo imediato da valorização do produto resultou na expansão de açaizais manejados, em áreas de várzeas, e estimulou a implantação de cultivos racionais em terra firme.

Os dados mais recentes estimam em mais de 15 mil hectares de áreas manejadas e financiadas no Estado do Pará, gerando aproximadamente 2 mil empregos diretos. No agronegócio do açaí, no Pará, é estimado o envolvimento de 25 mil pessoas (BRASIL, 2006).



A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Amazônia Oriental tem pesquisado os sistemas de produção do açaí e promovido seu melhoramento. A Empresa desenvolveu um conjunto de técnicas para o manejo do açaí nativo, reconhecidas e aceitas para aplicação em áreas de proteção ambiental. O conjunto de trabalhos tem permitido ao Estado do Pará (em especial) responder ao aumento da demanda pelo consumo do açaí sem prejudicar o consumo local e a segurança alimentar das populações ribeirinhas e tem permitido ao agricultor quase que duplicar a renda com a atividade (BRASIL, 2006).

### 3.2 PROBLEMÁTICA DO DESCARTE INADEQUADO DOS CAROÇOS DE AÇAÍ.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012) os resíduos devem ter uma destinação ambientalmente adequada. Sendo pelo processo de reciclagem, compostagem, recuperação, aproveitamento energético ou outras destinações, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. Isso não vem ocorrendo com os resíduos gerados pelo despulpamento do fruto de açaí em diversos pontos comerciais informais de processamento e venda do fruto, conhecidos como “amassadeiras”, muito comuns nas cidades paraenses. Estima-se que existam mais de 2 mil amassadeiras de açaí somente em Belém, com produção total em torno de 10 t/dia de polpa. Considerando que o processamento é feito em áreas urbanas, o rejeito, geralmente, é tratado como lixo urbano, trazendo transtorno para a coleta (PADILHA, 2005).

A crescente demanda por polpa do fruto do açaí, a instalação de indústrias para atender essa demanda é atualmente uma atividade em expansão na região, gerando renda e melhorando a qualidade de vida para as populações ribeirinhas e urbanas (MOCHIUTTI *et al*, 2011). No entanto, do processamento, basicamente é obtida a polpa. O caroço (endocarpo e amêndoa) que corresponde a 83% do fruto do açaí sendo o principal subproduto do processamento e é considerado resíduo.

Devido o grande consumo do açaí na região e agora em nível nacional, muitas pesquisas têm sido feitas, basicamente sobre o “vinho”, mas quase nenhuma relacionada com aos resíduos, pois o que se vê, principalmente na região, são depósitos irregulares de caroços de açaí que são jogados pelas vias públicas, terrenos baldios e canais de drenagem, transformando-se lixões a céu aberto, sem nenhum tratamento (REIS, 2002).

O resíduo gerado pelo despulpamento do fruto do açaí é considerado pelo Código de Postura do Município como entulho, mas tem potencial de reaproveitamento, para o artesanato e para a indústria. No período de maior safra do fruto, entre os meses de agosto a dezembro é descartado uma média diária de 350 toneladas da semente ao ar livre, segundo a Associação dos Batedores de Açaí da Região Metropolitana de Belém.

A falta de iniciativa por parte do poder público, em criar projetos que favoreçam o beneficiamento do caroço do açaí é um dos fatores que implica no seu destino final inadequado. Se os projetos existissem essa problemática seria resolvida em grande parte, visto que, dar-se-ia um destino final ecologicamente correto ao resíduo.

De acordo com o Código de Posturas do Município, a Secretaria de Saneamento do Estado do Pará (SESAN), tem a responsabilidade de recolher apenas meio metro cúbico de entulho por morador, o equivalente ao tamanho de uma caixa d'água de 500 litros. Superior a essa quantidade, a responsabilidade de fazer a coleta é do proprietário que gerou o resíduo, contratando, por exemplo, uma empresa particular.

A realidade hoje dos batedores de açaí por não terem locais adequados de lançamento desses detritos, pagam pessoas chamadas de “carrinheiro” que tem a função de transportar o resíduo gerado e depositar em lugares irregulares. Os comerciantes pagam em torno de R\$ 1,00 por saca coletada.

Segundo Gantuss (2006) o caroço, após decomposição é largamente empregado como matéria orgânica, sendo considerado ótimo adubo para o cultivo de hortaliças e plantas ornamentais. No entanto, deve-se considerar que o caroço de açaí apresenta um elevado potencial energético e que poderia ser disponibilizado também para geração de

energia de diversas formas, destacando-se a elétrica e carvão vegetal (NAGAISHI, 2007).

Júnior (2010) aponta como uma possível solução para esse desperdício, a produção de carvão ativado, a partir dos produtos residuais coletados, conferindo a esse resíduo valor agregado, auxiliando na renda de comunidades ribeirinhas onde esses produtos são descartados e diminuindo o impacto dos mesmos à natureza. A Figura 3.5, mostra o descarte inadequado de caroços de açaí nas ruas de Belém.

Figura 3.5: Descarte inadequado de caroços de açaí nas ruas de Belém



Fonte: Autora, 2014.

### 3.3 CARVÃO ATIVADO

O carvão ativado (CA) tem sua aplicação datada de 2.000 a.C., quando os egípcios já o usavam para a purificação da água. Posteriormente, produzido na forma granular, o carvão ativado teve grande proveito na I Guerra Mundial, para ser utilizado nas máscaras de gás. Após a década de 50, foi desenvolvida a manufatura de carvão ativado em pó e o seu uso foi amplamente estendido para a purificação de água e no controle na emissão de poluentes (BANDOS e TERESA, 2006).

A capacidade de adsorção do carvão ativado depende fortemente da sua porosidade e região de superfície. Como suas propriedades texturais dependem do material de partida e do método de preparação, muitos

materiais naturais e sintéticos têm sido utilizados. Os carvões ativados com elevada área superficial e grande volume de poros podem ser preparados a partir de uma variedade de precursores, tais como: cascas de coco, de arroz, de nozes, carvões minerais (antracita, betuminoso, linhito), madeiras, turfas, resíduos agrícolas ou resíduos industriais (YAGMUR, OZMAK, AKTAS, 2008).

O carvão ativado é um material carbonáceo com boa superfície específica, poroso e que proporciona uma área superficial interna que se estende de 80 m<sup>2</sup>/g a 1200 m<sup>2</sup>/g, vem definido por características como forma, tamanho de partícula, volume de poro, área superficial, estrutura do microporo, distribuição de tamanho de poro e características físicas e químicas da superfície. Todos esses parâmetros podem ser modificados, obtendo-se diferentes tipos de carvão e de características melhoradas, o que lhes confere maior capacidade de adsorção - tanto em fase líquida quanto gasosa (PIS *et al.*, 1996 e WANG *et al.*, 2001, *apud* ROCHA, 2006). Sabe-se que a área interna é variável sendo caracterizada em macroporo (acima de 50nm), mesoporo (2nm a 50nm) e microporo (inferior a 2nm) granulares (ROUQUEROL *et al.*, 1999, *apud* ROCHA, 2006).

A característica incomparável do carvão é a larga superfície interna localizada dentro da rede de poros estreitos, onde a maior parte do processo de adsorção tomará lugar e cujo tamanho e forma dos poros também influenciam na seletividade da adsorção através do efeito de peneira molecular (RODRIGUEZ-REINOSO e SABIO-MOLINA, 1998, *apud* GOMES, 2010).

Os carvões microporosos pertencem a uma classe de materiais importantes, conhecido como carvão ativado (C.A) sendo de larga aplicação através de sua reconhecida produção mundial de aproximadamente 400.000 ton./ano (RODRÍGUEZ-REINOSO e SABIO-MOLINA, 1998, *apud* GOMES, 2010). O carvão ativado pode ser utilizado não apenas como adsorvente, mas também como catalisador ou suporte. Na área de tratamento de efluentes, o carvão ativado é usado na adsorção em fase líquida, por exemplo, na adsorção de moléculas orgânicas que causam sabor, odor e toxicidade (LETTERMAN, 1995, *apud* SOUZA, 2010).

No Brasil os precursores mais utilizados para a produção de CA são madeira, carvão betuminoso e o sub-betuminoso, osso e casca de coco. Uma vez preparada a granulometria desejada, a produção envolve, basicamente, a carbonização e ativação (ou oxidação) para desenvolvimento dos vazios internos. A carbonização ou pirólise é usualmente realizada na ausência de ar, em temperaturas compreendidas entre 500 – 800°C, enquanto a ativação é realizada com gases oxidantes em temperaturas de 800 a 900°C (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

A carbonização tem a finalidade de remover material volátil da matéria prima e criar uma estrutura porosa inicial, e o resultado dessa etapa depende, principalmente, da temperatura fixada, tempo de carbonização, taxa de aquecimento, temperatura final de aquecimento e fluxo de gás inerte. A reatividade do material carbonizado cresce com o aumento do conteúdo de carbono no material utilizado (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Existem dois processos para preparação de carvão ativado: ativação química e ativação física. A ativação química é conhecida como um método de único passo na presença de agentes químicos. A ativação física envolve a carbonização de um material carbonáceo seguida de ativação do carvão resultante na presença de agentes ativantes como CO<sub>2</sub> ou vapor (MORENO-PIRAJA, J.C e GIRALDO, L., 2009).

Os carvões ativados têm sido frequentemente utilizados no controle da poluição ambiental, como adsorvente para remoção de compostos orgânicos e espécies tóxicas de efluentes industriais. A adsorção de carvão ativado é uma das mais eficazes técnicas para a remoção de íons metálicos de águas residuais. Diferentes parâmetros, tais como as condições de funcionamento, tipo de carvão ativado, carbono e características físico-químicas dos efluentes a serem tratados vêm influenciando o desempenho do adsorvente no processo (DE LIMA, L.S., *et al*, 2011).

As tecnologias convencionais, tais como a adsorção em carvões ativados e extração de íons utilizando resinas poliméricas orgânicas podem ser usadas no nível terciário de tratamento de efluentes contendo baixas concentrações de íons metálicos. Devido à sua grande capacidade de

adsorção de poluentes, os carvões ativados são os adsorventes mais eficazes, e, se o sistema for adequadamente projetado, os resultados serão satisfatórios, tendo-se uma boa qualidade dos efluentes tratados, com concentrações dentro dos limites legais (DABROWSKI *et al.*, 2005, *apud* SANCEY, B. *et al*, 2010). No entanto, devido ao seu alto custo, adsorção de CA é empregada com mais frequência para a remoção de compostos orgânicos ao invés de metais (SANCEY, *et al*, 2010).

As aplicações dos carvões ativados são inúmeras, podendo-se citar o tratamento de água, a purificação de águas residuais, industriais, a redução direta de gases poluentes como o monóxido de carbono e a suportaçãõ de catalisadores para reações gás-sólido (PEREIRA, *et al*, 2008).

A busca pelo desenvolvimento da produção de novos carvões a partir de diferentes matérias-primas, objetiva minimizar a relação custo/benefício. Por isso diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de se obter os adsorventes de matéria-prima de baixo custo originada, sobretudo, de resíduos agrícolas e rejeitos industriais (ROCHA, 2006).

### 3.4 PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO

Os carvões ativados são obtidos através de duas etapas: a carbonização do material precursor, através da queima e a ativação propriamente dita. O desempenho do carvão ativado é relacionado com suas características químicas e estrutura porosa. Embora as condições de processamento possam ter alguma influência na estrutura e propriedade do produto final, estas são determinadas principalmente pela natureza do material precursor (CLARK, 2010).

A carbonização consiste no tratamento térmico (pirólise) do material precursor em atmosfera inerte, em temperatura superior a 200 °C. É uma etapa de preparação do material, onde se removem componentes voláteis e gases leves (CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>), produzindo uma massa de carbono fixo e uma estrutura porosa primária que favorece a ativação posterior (CLAUDINO, 2003).

Durante a carbonização, os biopolímeros do material precursor, como a celulose, se decompõem e perdem constituintes como nitrogênio, oxigênio e hidrogênio, os quais escapam como produtos voláteis. Há também a perda de moléculas orgânicas de diferentes tamanhos de cadeia (alcoóis, ácidos, cetonas, etc). O carvão obtido pela carbonização do material celulósico é essencialmente microporoso, mas essa microporosidade pode tornar-se preenchida ou parcialmente bloqueada pelos produtos de decomposição. Então, para aumentar o volume dos microporos torna-se necessário fazer a ativação (CLARK, 2010).

A ativação pode ser realizada por processos físicos ou químicos, após a etapa de carbonização. Os processos de ativação visam à obtenção de um carvão microporoso, pela retirada de componentes orgânicos como o alcatrão, creosoto e naftas, além de outros resíduos que possam obstruir os poros. Essas técnicas levam a formação de sítios eletricamente instaurados, com intensificada capacidade adsortiva (ROCHA *et al*, 2006).

A ativação física é o processo pelo qual o precursor desenvolve uma estrutura porosa, aumentando sua área superficial, pela ação de um tratamento térmico a uma temperatura que pode variar na faixa de 700 – 1000 °C sob o fluxo de um apropriado gás oxidante, vapor de água, CO<sub>2</sub> ou ar atmosférico, usados individualmente ou combinados (DIAZ-TERÁN *et al.*,2003). Consideremos uma matriz carbonosa formada por limitadas estruturas organizadas onde a porosidade é uma rede interligada e contínua, sendo grande parte destes espaços ocupados por átomos de carbono que não foram retirados na carbonização. Pode-se melhorar a razão entre espaços e matriz sólida se forem retirados, de forma seletiva, os átomos de carbono do interior destes espaços e alguns mais que estejam fracamente ligados - sejam mais reativos com fluxo de gás - à matriz carbonosa. A ativação física está então relacionada com a remoção de átomos de carbono, e por consequência, decréscimo da massa do precursor (comumente designado por "burn-off"). Esta perda de massa aumenta com a temperatura e tempo de ativação (DIAZ TERÁN *et al.*,2003).

Já na ativação química o precursor é impregnado com um agente ativador, podendo este ser o ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), cloreto de zinco (ZnCl<sub>2</sub>), ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), hidróxido de sódio (NaOH), entre outros. O

que estes agentes têm em comum é a capacidade desidratante que influencia na decomposição por pirólise, inibindo a formação de betuminosos no interior dos poros (SCHETTINO JR, 2004). O agente ativador, mais utilizado na preparação de carvão ativado, o cloreto de zinco ( $ZnCl_2$ ), porém apesar de permitir um bom desenvolvimento dos poros, apresenta elevado custo (AZEVEDO *et al.*, 2007; MOHANTY *et al.*, 2005).

A ativação química tem certas vantagens e algumas desvantagens em relação à ativação física. Essas vantagens podem ser descritas sumariamente como: (i) baixas temperaturas para pirólise, (ii) tem maior rendimento do que a ativação física (baixo "burn-off"), (iii) permite obter maior área superficial, (iv) possibilita o controle e manutenção de uma melhor distribuição das dimensões dos poros. A literatura também menciona algumas desvantagens da ativação química, como o envolvimento de produtos altamente corrosivos e a necessidade de um passo extra de lavagem do produto final (LILLO-RODENAS *et al.*, 2003).

Mestre *et al.* (2011) avaliaram o potencial de adsorção do carvão preparado a partir de resíduos de sisal, ativado quimicamente com  $K_2CO_3$ . A melhor condição observada foi quando utilizada uma proporção de 0,5:1 ( $K_2CO_3$ :sisal), e uma temperatura de carbonização de 700 °C (1 h), onde obteve-se um carvão com área superficial de  $1.038 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , e volume total de poros de  $0,49 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ , podendo ser comparados ao carvão ativado comercial, que, conforme o estudo, apresentou uma área superficial de  $1.065 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , e volume total de poros de  $0,70 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ . O autor ainda ressalta a escolha do  $K_2CO_3$  como agente químico, em detrimento ao  $H_3PO_4$ , destacando o fator ambiental, pois devem ser levados em consideração os problemas associados ao descarte de fosfatos, como a eutrofização.

No estudo realizado por Schettino Jr *et al.* (2007) foi avaliado o carvão ativado produzido a partir da casca de arroz, após o tratamento químico realizado com o agente ativador NaOH, em uma proporção de 3:2 (NaOH:casca de arroz). Nos resultados obtidos, foi verificado que o carvão da casca de arroz, lavado com ácido fluorídrico (HF) e água, (para obtenção de um material livre de sílica), previamente tratado com NaOH e com uma temperatura de carbonização de 800°C obteve uma área superficial de  $1.380 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ , e um volume de microporos de  $0,76 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ . Enquanto que o material



precursor sem o tratamento, somente lavado com HF e água, obteve área superficial de  $530 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  e volume de microporos de  $0,29 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ .

Almansa *et al* (2004) optaram pelo uso da ativação química com  $\text{ZnCl}_2$  na preparação de carvão ativado utilizando caroço de azeitona como material precursor. Utilizando uma proporção de 1:2 (caroço de azeitona: $\text{ZnCl}_2$ ) e com uma temperatura de queima de  $800^\circ\text{C}$ , obteve-se um carvão microporoso ( $0,6 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$  de microporos) e praticamente sem a presença de poros maiores.

Mohammadi *et al* (2010) testaram o potencial do caroço do fruto espinheiro-do-mar na produção de carvão ativado. Foram testados o  $\text{H}_3\text{PO}_4$  e o  $\text{ZnCl}_2$  como agentes químicos para o tratamento prévio, ambos em uma proporção 1:2 (material precursor:agente químico). Após o processo de queima, por 3 horas em uma temperatura de  $550^\circ\text{C}$ , atingiu-se uma área superficial específica de  $1.071 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  para o material tratado com o  $\text{H}_3\text{PO}_4$  e  $829 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  para o material tratado com  $\text{ZnCl}_2$ . Além disso, o material demonstrou eficiência na adsorção de Chumbo –  $\text{Pb(II)}$  em ambas as situações.

Khalili *et al.* (2000) avaliaram resíduos de papel para fins de produzir carvão ativado. Foi utilizado o  $\text{ZnCl}_2$  como agente químico para o tratamento prévio do material, em diferentes proporções. Os autores observaram que, com o aumento da proporção de  $\text{ZnCl}_2$  utilizada houve um aumento da área superficial específica e do volume de poros. Sendo que, para uma proporção de 2,5:1 ( $\text{ZnCl}_2$ :material precursor) foi obtido o melhor resultado, com uma área superficial de  $1.249 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  e volume total de poros de  $1,128 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$ , sendo que, desse total,  $0,486 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$  eram microporos.

Diversos outros estudos relatam o uso de cloreto de zinco como agente ativador, tais quais GUO e LUA (2000), ROCHA *et al* (2006) e BRUM *et al* (2008).

Neste trabalho não foi feito nenhum tipo de ativação química, ocorreu apenas calcinação artesanal do caroço de açaí e sua utilização como único componente de um leito filtrante para filtração de água e de esgoto. Não se optou por nenhuma ativação química pelo objetivo de primeiramente observar a capacidade de adsorção dos caroços de açaí somente calcinados.

### 3.5 CARACTERIZAÇÃO DO CA

As principais características do carvão ativado dependem da origem do precursor (vegetal, animal ou mineral) e do tipo de ativação (física e química). A eficiência da adsorção é atribuída a fatores, tais como: superfície específica, porosidade, reatividade dos diferentes componentes do material, características do adsorvato (tamanho, massa molar e grupos funcionais das moléculas) dentre outros (DI BERNANDO e DANTAS, 2005).

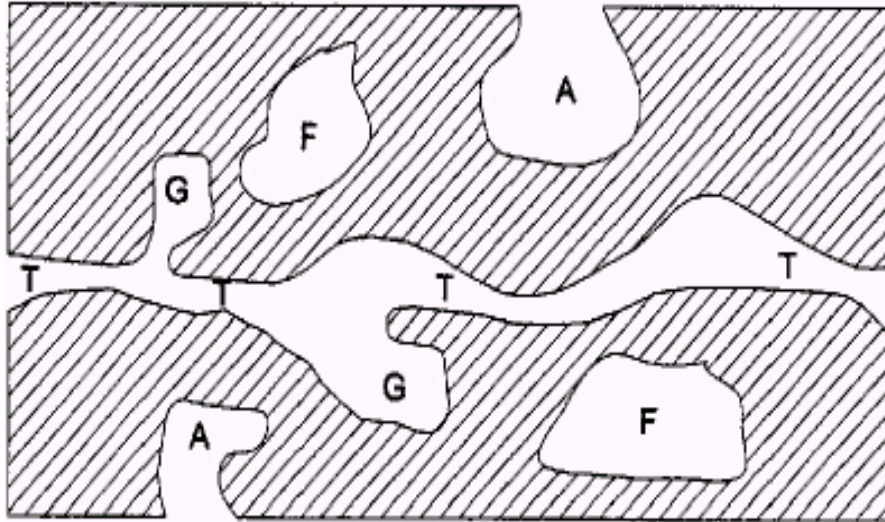
#### 3.5.1 Porosidade

Segundo Claudino (2003) os materiais porosos são conhecidos como peneiras moleculares, pois as dimensões de seus poros permitem a separação de moléculas a partir de sua própria dimensão e de seu formato. Dentre os vários materiais porosos o carvão ativado é o mais conhecido e o mais usado comercialmente. As propriedades dos materiais porosos estão relacionadas com suas características morfológicas e de composição química.

A porosidade dos carvões ativados é um dos aspectos mais importantes para a avaliação de seu desempenho. As diferenças nas características de adsorção estão relacionadas com a estrutura dos poros do material. Baseado nas propriedades de adsorção, da *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) estabelece uma classificação porosa assim resumida:

**Quanto à forma:** Utiliza-se a expressão poro aberto ou poro fechado para designar buracos em materiais sólidos, o primeiro correspondendo a buracos que se comunicam com a superfície externa e o segundo correspondendo a um buraco isolado, conforme é representado na Figura 3.6. Se um poro aberto é tal que permite o fluxo de um fluido, o poro é dito ser poro de transporte, sendo que, esse pode apresentar “braços” que não contribuem para o fenômeno de transporte.

Figura 3.6: Esquema apresentando os diferentes tipos de poros em um sólido quanto à forma: (T) poro de transporte, (A) poro aberto, (F) poro fechado e (G) poro tipo gaiola.



Fonte: IUPAC, 1982 *apud* CLAUDINO, 2003.

**Quanto à dimensão:** Baseado nas propriedades de adsorção, a União Internacional de Química Pura e Aplicada – IUPAC (1982) propõe a classificação de poros em função do diâmetro, conforme observado no Quadro 3.1.

Quadro 3.1: Classificação de poros segundo a IUPAC.

Tipo de poro	Diâmetro médio	Função Principal
Microporos	$\theta_m < 2\text{nm}$	Contribuem para a maioria da área superficial que proporciona alta capacidade de adsorção para moléculas de dimensões pequenas, tais como gases e solventes comuns.
Mesoporos	$2\text{ nm} < \theta_m < 50\text{nm}$	São importantes para adsorção de moléculas grandes tais como corantes e proporcionam a maioria da área superficial para carvões impregnados com produtos químicos.
Macroporos	$\theta_m > 50\text{ nm}$	São normalmente considerados sem importância para a adsorção e sua função é servir como meio de transporte para as moléculas gasosas.

Fonte: GREGG, S. J.; SING, K. S. W. 1982 *apud* CLAUDINO, 2003.

### 3.5.2 Adsorção em CA

É o processo de retenção de moléculas nas superfícies de partículas sólidas, causado por interações nessas superfícies. A adsorção facilita trocas iônicas que podem ser de muita importância no ciclo geoquímico dos elementos envolvidos e em aplicações industriais e laboratoriais (RUTHVEN, 1984, *apud* MEZZARI, 2002). Esse processo é um dos fenômenos físicos mais utilizados para estudar os sólidos porosos. A adsorção pode ocorrer tanto por mecanismos físicos como por mecanismos químicos (FOUST, 1980, *apud* MEZZARI, 2002).

A adsorção física (também chamada fisissorção ou adsorção de Van der Waals, ocorre quando forças intermoleculares de atração entre as moléculas do fluido e a superfície do sólido são maiores do que as forças de atração entre as próprias moléculas do fluido. As moléculas do fluido aderem-se à superfície do sólido e o equilíbrio é estabelecido entre o fluido adsorvido e o restante que permaneceu na fase líquida. O calor de adsorção é pequeno e da mesma ordem de grandeza dos calores de condensação (MEZZARI, 2002).

Na adsorção química (também chamada quimissorção), há o envolvimento de interações químicas entre o fluido adsorvido e o sólido adsorvente, onde há a transferência de elétrons, equivalente à formação de ligações químicas entre o adsorvato e a superfície do sólido. Nesse caso, o calor de adsorção é da mesma ordem de grandeza dos calores de reação. Por essa razão, somente a adsorção física é apropriada a uma operação cíclica. Além disso, na adsorção física podem formar-se camadas moleculares sobrepostas, enquanto que na adsorção química se forma uma única camada molecular adsorvida (monocamada) (MEZZARI, I. 2002). A Tabela 3.1 apresenta as principais diferenças existentes entre a adsorção física e adsorção química.

Tabela 3.1: Principais diferenças existentes entre a adsorção física e adsorção química.

Adsorção Física	Adsorção Química
Causadas por forças de Van der Waals	Causada por forças eletrostáticas e ligações covalentes
Calor de adsorção = 2 - 6 kcal mol <sup>-1</sup>	Calor de adsorção = 10 - 200 kcal mol <sup>-1</sup>
Adsorção genérica	Reação específica e seletiva
A camada adsorvida pode ser removida por aplicação de vácuo à temperatura de adsorção	A camada adsorvida somente é removida por aplicação de vácuo à temperatura acima da de adsorção
Formação de multicamadas	Somente há formação de monocamadas
Acontece somente em baixas temperaturas	Acontece também em altas temperaturas
Adsorvente pouco afetado	Adsorvente altamente modificado na superfície

Fonte: COUTINHO *et al.*, 2001 *apud* VILLAR, 2007

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), diversos parâmetros podem ser empregados para descrever a capacidade adsorptiva do CA, através do número de iodo, número de melão e índice de azul de metileno e fenol podem ser utilizados para inferir sobre a porosidade.

**a) Número de Iodo (indica microporosidade)** - expressa a quantidade de iodo, em massa, que é adsorvida em determinada massa de CA sob condições específicas e geralmente está relacionado com a adsorção de moléculas de pequena massa molecular; é geralmente expresso em mg/g (adaptado de DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

**b) Índice de Azul de Metileno (IAM) (indica mesoporosidade)** – expressa a quantidade de azul de metileno, em massa, que é adsorvida em determinada massa de CA sob condições específicas. O IAM fornece uma indicação da capacidade do CA em adsorver moléculas com dimensões similares à do azul de metileno e está relacionado à área superficial dos poros maiores que 1,5nm (adaptado de DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

**c) Número de Melaço (indica macroporos)** - o índice de Descoloração está relacionado à capacidade do CA em adsorver moléculas de grande massa molar. É um índice de descoloração medido em relação a uma solução de melaço e se expressa em percentual de descoloramento relativo a um carbono padrão (adaptado de DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Vários fatores afetam a adsorção, tais como a estrutura molecular ou natureza do adsorvente, a solubilidade do soluto, o pH do meio e a temperatura. A estrutura molecular ou a natureza do adsorvente é particularmente importante no ordenamento do grau de adsorção que pode ocorrer e o tipo e a localização dos grupos funcionais responsáveis pela adsorção afeta sua adsorbabilidade. Além desses fatores, o diâmetro molecular do adsorvato também afeta a adsorção. Compostos com diâmetros moleculares menores têm mais facilidade em difundir-se para o interior do sólido e conseqüentemente a adsorção é maior (MEZZARI, 2002).

### **3.5.2.1 Equilíbrio de adsorção**

A capacidade de um material adsorver um soluto é dada pelo equilíbrio de fase, ou seja, o poder adsorativo é obtido em função da concentração do soluto na fase líquida e da quantidade da substância adsorvida no sólido. Em alguns sistemas pode-se traçar uma curva de concentração do soluto em função da concentração da fase fluida. Uma vez que esses processos ocorrem à temperatura constante, as curvas obtidas são denominadas *isotermas de adsorção*. Essas medem a eficiência da adsorção. A partir de uma isoterma, pode-se, por exemplo, prever a quantidade de carvão necessária para a retirada total ou parcial do adsorvato de um meio (NUNES, 2009).

As isotermas de adsorção são curvas extremamente úteis, pois indicam, de forma quantitativa, como o adsorvente efetivamente adsorverá o soluto; se a purificação requerida pode ser obtida; dá uma estimativa da quantidade máxima de soluto que o adsorvente adsorverá e fornece

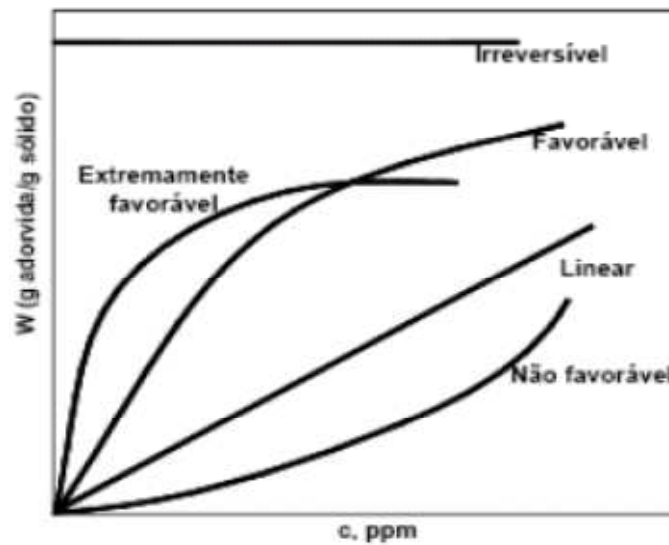
informações que determinam se o adsorvente pode ser economicamente viável para a purificação do fluido (PORPINO, 2009).

O procedimento experimental consiste em colocar em contato a solução contendo o componente a ser adsorvido com diferentes massas de adsorvente até atingir o equilíbrio. Depois da filtração pode-se obter a concentração de equilíbrio em solução e a quantidade de material que foi adsorvida. Assim, obtêm-se os gráficos, que são as isotermas. Esses podem apresentar-se de várias formas, fornecendo informações importantes sobre o mecanismo de adsorção. As isotermas mostram a relação de equilíbrio entre a concentração na fase fluida e a concentração nas partículas adsorventes em uma determinada temperatura. Algumas formas mais comuns estão apresentadas na Figura 3.7. A isoterma linear passa pela origem e a quantidade adsorvida é proporcional à concentração no fluido. Isotermas convexas são favoráveis, pois grandes quantidades adsorvidas podem ser obtidas com baixas concentrações de soluto. Os tipos de isotermas de adsorção são vários e suas expressões teóricas são derivadas de acordo com as diversas suposições sobre o comportamento dos componentes do sistema (CLARK, 2010).

A quantidade de material adsorvida pode ser expressa pela massa de gás ou volume produzido por unidade de adsorvente. O formato da isoterma é função do tipo de porosidade do sólido (FERNANDES, 2008).

As isotermas podem, frequentemente, ser representadas por equações simples que relacionam diretamente a quantidade adsorvida em função da concentração do adsorvato. Essas equações provêm de modelos teóricos, sendo mais utilizados os modelos de Langmuir, Freundlich e BET (Brunauer – Emmet – Teller) (SCHNEIDER, 2008).

Figura 3.7: Isotermas de adsorção



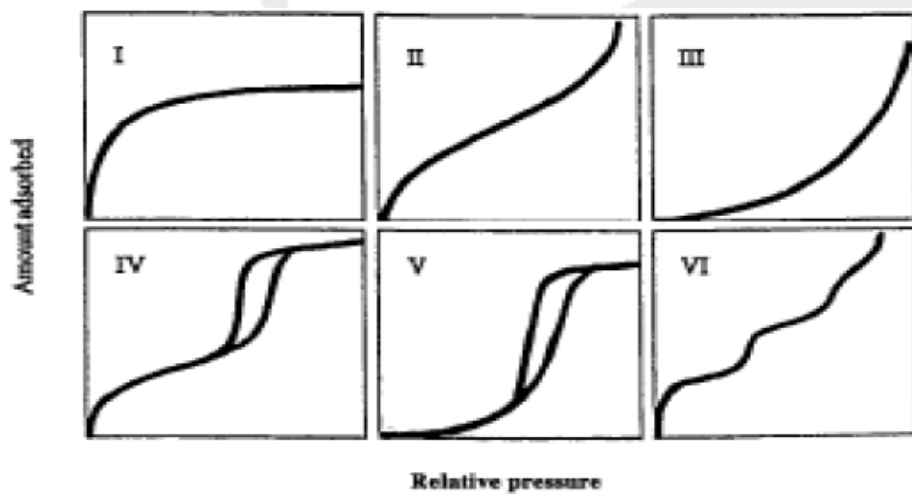
Fonte: CLARK, 2010.

O termo BET refere-se ao sobrenome de seus autores (Brunauer, Emmet, Teller). Este modelo representa uma complementação ao modelo de Langmuir, assumindo a possibilidade de que uma camada é capaz de produzir sítios de adsorção gerando a deposição de uma camada sobre a outra. Dessa forma, cada molécula adsorvida na superfície do adsorvente proporciona um segundo sítio, para uma segunda camada de moléculas, e assim por diante (CLARK, 2010).

Pela classificação de Brunauer *et al.*, 1938 *apud* Fernandes, 2008, as isotermas podem ser divididas em seis tipos, conforme Figura 3.8.



Figura 3.8: Isotermas de adsorção classificadas por Brunauer *et al.* (1936).



Fonte: FERNANDES, 2008.

As isotermas para sólidos microporosos (microporos < 2nm), nos quais o tamanho do poro não é muito maior do que o diâmetro da molécula do adsorvato, são normalmente representadas pelo tipo I. Isto acontece porque com esses adsorventes, existe uma saturação limite correspondendo ao enchimento completo dos microporos. Ocasionalmente, se os efeitos de atração intermolecular são grandes, a isoterma do tipo V é observada. Uma isoterma do tipo IV sugere a formação de duas camadas na superfície plana ou na parede do poro, esse muito maior do que o diâmetro molecular do adsorvato (mesoporos: 2 a 50 nm e macroporos: >50nm). Isotermas do tipo II e III são geralmente observadas em adsorventes que apresentam uma grande faixa de tamanho de poros. Nesses sistemas, existe uma progressão contínua com aumento das camadas levando a uma adsorção de multicamadas e depois para condensação capilar. O aumento na capacidade a altas concentrações acontece devido à condensação capilar nos poros de maior diâmetro (RUTHVEN, 1984, *apud* MEZZARI, I. 2002).

Segundo Chaves (2009), para compreender melhor os mecanismos das isotermas de adsorção, um dos modelos mais amplamente utilizados é o de Langmuir. Essa isoterma foi desenvolvida assumindo-se que: a adsorção ocorre em monocamada, todos os sítios possuem a mesma

energia adsortiva, a adsorção é reversível, não há interação entre as moléculas adsorvidas e os sítios vizinhos (a adsorção é independente).

A partir destas considerações, a isoterma de Langmuir é definida pela seguinte equação (3.1):

$$q_0 = \frac{K_L Q_0 C_e}{1 + K_L C_e} \quad \text{Equação (3.1)}$$

Onde  $Q_0$  representa a adsorção máxima ( $\text{mg.g}^{-1}$ ),  $q_0$  a quantidade adsorvida no equilíbrio ( $\text{mg.g}^{-1}$ ),  $C_e$  a concentração do adsorbato no equilíbrio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) e  $k_L$  é constante do modelo ( $\text{L.mg}^{-1}$ ) equivalente à constante de equilíbrio químico em reações.

O modelo de Freundlich considera o sólido constituído por dois ou mais tipos distintos de sítios ativos (sólido heterogêneo), ao passo que a aplicação é baseada em uma distribuição exponencial para caracterizar sítios com diferentes energias adsortivas (FERNANDES, 2008). A equação do modelo de Freundlich foi obtida de forma empírica, e é definida pela seguinte equação (3.2):

$$q_e = k_f \cdot C_e^{1/n} \quad \text{Equação (3.2)}$$

Sendo  $q_e$  a quantidade do adsorbato adsorvida no equilíbrio ( $\text{mg.g}^{-1}$ ),  $C_e$  a concentração do adsorbato no equilíbrio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) e  $k_f$  [ $(\text{mg.g}^{-1}) (\text{L.mg}^{-1})^{1/n}$ ] e  $n$  as constantes de Freundlich.  $k_f$  representa a capacidade de adsorção ao passo que  $n$  representa a intensidade do processo de adsorção.

Tanto no modelo de BET quanto Langmuir não se assume valores negativos em suas constantes. Caso isso ocorra, significa que esses modelos não se ajustam para explicar o processo de adsorção, ou seja, não seguem as hipóteses consideradas no modelo (BARROS, 2001).

### 3.5.3 Propriedades Físicas do CA

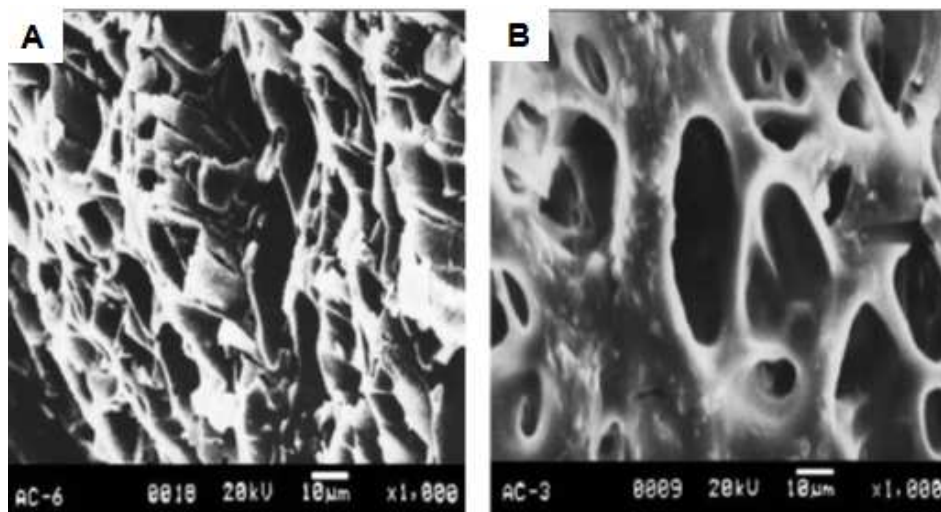
As propriedades texturais dos carvões ativados fundamentam-se em duas características importantes: tamanho de poro e área superficial. Uma metodologia para determinar a área superficial é descrita pelo modelo Brunauer-Emmett-Teller (BET), sendo determinada pela medida da isoterma de adsorção por moléculas de gás Nitrogênio (IUPAC, 1982; LETTERMAN, 1999).

A distribuição de tamanho de poro é o outro parâmetro importante para o estudo da estrutura porosa, já que está intimamente relacionado à área total do sólido. Vários métodos foram desenvolvidos a fim de se determinar a distribuição de poros de acordo com o seu tamanho. Um dos métodos mais usados é o que utiliza a adsorção física de gases. Barret *et al.* (1951) propuseram um método matemático denominado BJH que é utilizado no cálculo da distribuição de tamanho de poros. Atualmente os pesquisadores utilizam técnicas de caracterização física de carvões através de medidas (i) de área superficial total (BET), através da adsorção de nitrogênio; (ii) de porosidade e distribuição de tamanhos de poros, através de porosímetros; e (iii) da morfologia do material observada através de microscopia eletrônica (RIVERA-UTRILLA *et al.*, 2003; HU *et al.*, 2003; ELHENDAWY, 2005; DEIANA, *et al.*, 2008)

A técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) tem sido empregada para observar a morfologia física da superfície de carvões ativados. As observações, frequentemente complementam o entendimento do processo de ativação aplicado, além de permitirem a visualização das características do material precursor adotado.

A Figura 3.9 mostra as imagens (MEV), antes e depois da pirólise, de serragem de *Tectona grandis*, material precursor utilizado por Mohanty *et al.* (2005) no preparo de carvões ativados com cloreto de zinco como agente ativante. Poros de diferentes tamanhos e formas podem ser observados. Os autores destacam as cavidades formadas (Figura 3.9B) no processo de ativação química, sugerindo como sendo resultantes da evaporação do cloreto de zinco durante o aquecimento.

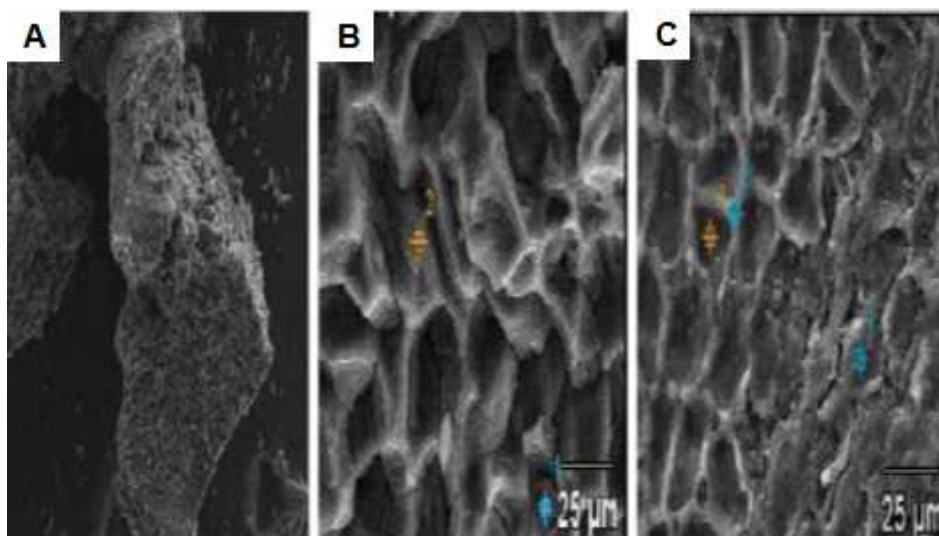
Figura 3.9: Micrografias MEV de serragem de *T. grandis* antes (A) e depois (B) da carbonização (500°C, 60min, impregnação a 200%).



Fonte: MOHANTY *et al.*, 2005.

O carvão ativado produzido por Rocha (2006), a partir do endocarpo de macadâmia por ativação química com cloreto de zinco, mostra que foi possível geração de um adsorvente com a presença de poros ao longo da superfície. A Figura 3.10 ilustra o material apenas pirolisado e o material impregnado e posteriormente pirolisado.

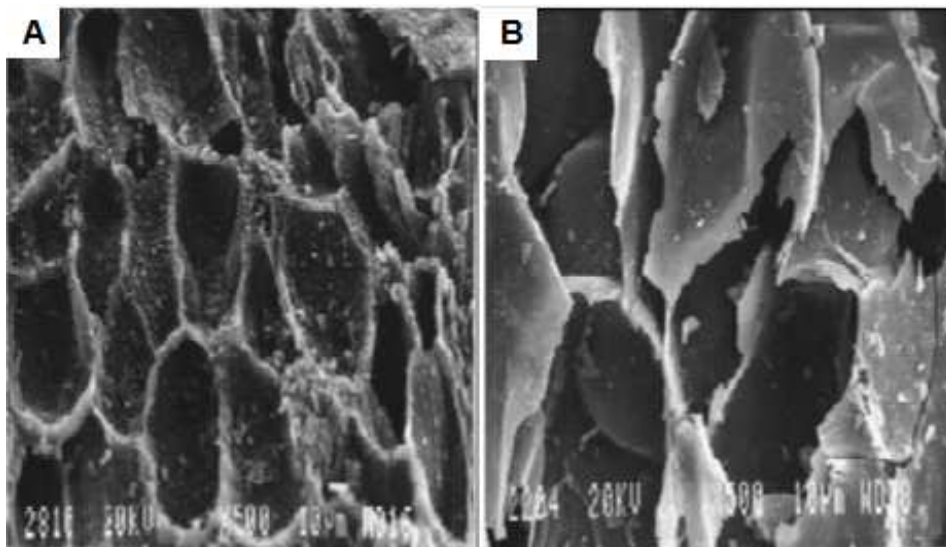
Figura 3.10: Endocarpo de noz macadâmia pirolisado (A) e (B) impregnado e posteriormente pirolisado (C).



Fonte: ROCHA, 2006.

Nos trabalhos realizados por Marcilla *et al.* (2000), no preparo de carvões de casca de amêndoa, evidenciou-se a influência do tratamento térmico na estrutura do material resultante. A Figura 3.11 apresenta as estruturas resultantes do processo de aquecimento em duas etapas com diferentes temperaturas intermediárias, 300°C e 400°C, com aquecimento final até 850°C para ambos os carvões.

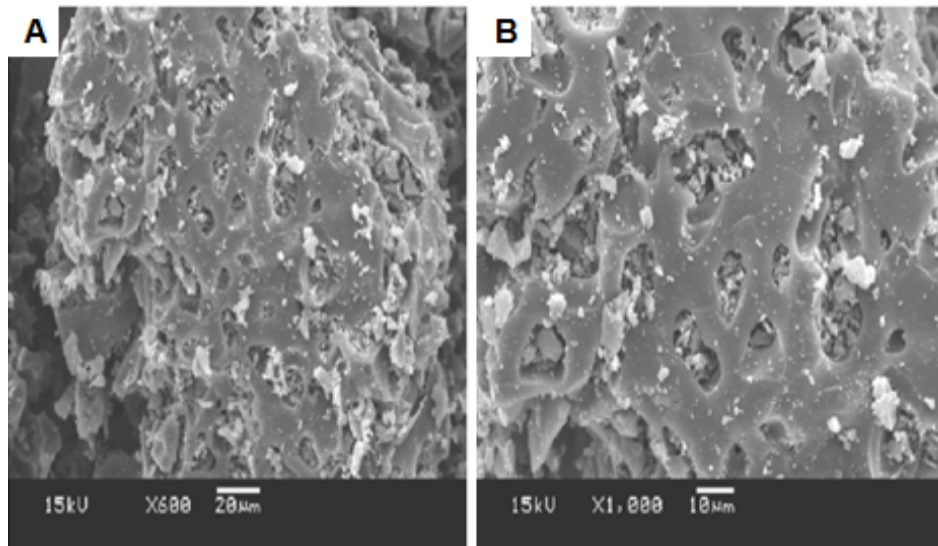
Figura 3.11: Microestrutura externa do carvão ativado preparado nas temperaturas intermediárias de 400°C (A) e 300°C (B). Ampliado 500 vezes.



Fonte: MARCILLA *et al.*, 2000.

Cruz (2010) utilizou produtos residuais de espécies nativas da região Amazônica para fazer carvões ativados. As biomassas estudadas foram o ouriço da castanha, cupuaçu e açaí que passaram por um processo de pirólise a ativação química com cloreto de zinco, apresentando uma estrutura porosa morfologicamente diferente em cada produto estudado. Entretanto, todos os produtos residuais apresentaram o desenvolvimento de alta porosidade. O carvão da semente do açaí apresentou a ocorrência mais abundante de mesoporos e macroporos, com aproximadamente 10 µm como mostrado na Figura 3.12.

Figura 3.12: Fotomicrografia do carvão ativado de açaí com magnificação de 600X (A) e 1000X (B).



Fonte: CRUZ, 2010.

#### 3.5.4 Propriedades Químicas do CA

Quanto às propriedades químicas, o teor de umidade, expresso em porcentagem em relação ao peso original, afeta a capacidade adsorptiva dos carvões. Para a adsorção de moléculas orgânicas a eficiência diminui enquanto o teor de umidade aumenta; isso ocorre porque certos poros que estariam disponíveis para a adsorção estão preenchidos com moléculas de água.

Outra característica importante é a presença de minerais no carvão, que influenciam a medição da condutividade elétrica do mesmo. Um carvão ativado com grande quantidade de minerais terá uma condutividade elétrica elevada. Essa propriedade é medida através da água de lavagem do carvão ativado. Uma condutividade elétrica elevada pode restringir as aplicações do carvão e gerar problemas específicos como a catálise indesejável de determinadas reações e a perda de eficiência de adsorção, uma vez que os minerais presentes podem competir com a substância a ser adsorvida (NG *et al.*, 2002).

Quanto ao pH, o carvão ativado pode apresentar caráter ácido ou básico, relacionado com a oxidação na sua superfície. Esse caráter é dependente das condições de manufatura do carvão e da temperatura na qual se processa a oxidação. Um carvão ácido apresenta comportamento ácido, ou seja, adsorve quantidades apreciáveis de bases, tendo pouca afinidade por ácidos, enquanto que o carvão básico apresenta comportamento oposto. No caso da adsorção de metais, alguns pesquisadores destacam a importância do pH na eficiência da adsorção; a maioria dos autores sugere o uso de carvões ativados com pH baixo na adsorção de íons metálicos - ânions (GUO *et al.*, 2002; LIMA; MARSHALL, 2005; MOHANTY *et al.*, 2005).

O conteúdo de cinzas do carvão é definido como o resíduo presente no carvão após sua combustão. Esse resíduo é composto por minerais como sílica, alumina, magnésio e cálcio. No carvão ativado, os metais presentes nas cinzas podem provocar reações de catálise e atuar como interferentes, competindo com a substância a ser adsorvida (NG *et al.*, 2002).

### 3.6 USO DE CARVÃO ATIVADO NO TRATAMENTO DE ÁGUA

O tratamento de ciclo completo é a tecnologia empregada no tratamento de água na maioria das estações de tratamento no Brasil, consistem nas seguintes etapas: coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. A água para o abastecimento público muitas vezes requer um tratamento complementar além das etapas mencionadas anteriormente, com objetivo de remover algumas substâncias causadoras de sabor, cor e odor (DI BERNARDO e DANTAS, 2005).

Segundo Heller e Pádua (2010) no tratamento da água, os adsorventes mais utilizados são a alumina e o carvão ativado, com destaque para o último. Dentre duas modalidades de carvão ativado, carvão ativado em pó (CAP) e carvão ativado granulado (CAG). Nas Estações de Tratamento de Água brasileiras o CAP é o mais utilizado. A capacidade de adsorção do CA está relacionada a diversos fatores, tais como temperatura, natureza do carvão, pH da água e superfície específica do carvão. Dentre os parâmetros mais usados para caracterizar as propriedades de adsorção do CAG e do CAP, o mais empregado é o índice de iodo. Para o emprego em ETA, recomenda-se que o carvão ativado apresente índice de iodo superior a 500 mg/g.

Di Bernardo e Dantas (2005) observaram que a maioria das substâncias causadoras de sabor, cor, odor, mutagenicidade e toxicidade como agroquímicos, geosmina, MIB e cianotoxinas em geral, pode ser adsorvida em CA. Entretanto, não se pode afirmar que qualquer tipo de carvão ativado irá adsorver qualquer substância orgânica indesejável na água. A massa molecular das substâncias orgânicas está diretamente relacionada ao tamanho dos poros dos grãos do CA, logo o conhecimento prévio das principais propriedades dos diferentes tipos de carvão ativado é necessário.

A utilização do CA no processo de tratamento de água ocorre na forma de meios filtrantes em tanques ou filtros através dos quais a água permeia. A superfície dos poros do CA vai sendo coberta por compostos químicos, retidos pós-adsorção, até que o carvão não seja mais capaz de



reter substâncias. Quando isso ocorre, o carvão está saturado e precisa ser retirado, reativado ou substituído por outro novo.

O CA pode ser utilizado como etapa de filtração/adsorção em que a filtração ocorre combinada com a adsorção ou, mais comumente, como pós-adsorção, sendo filtro de CA posicionado após a filtração rápida, permitindo que a água já filtrada passe pelo CA apenas para remover compostos orgânicos dissolvidos (BRANDÃO e SILVA, 2006).

Segundo Heller e Pádua (2010) é necessário que se faça sempre a realização de ensaios laboratoriais, para determinar a dosagem CAP e a vida útil do CAG, bem como o tempo necessário para remoção das substâncias orgânicas consideradas. O local de aplicação da suspensão do CAP deve ser definido levando em consideração a eficiência da sua mistura com a água, o tempo de contato necessário para adsorção dos contaminantes (em geral de 10 a 120 minutos) e o grau de interferência com os demais produtos químicos aplicados na ETA. Na Tabela 3.2, tem-se a listagem de alguns possíveis locais de aplicação da suspensão de CAP.

Tabela 3.2: Locais de adição de suspensão de CAP.

Local	Vantagem	Desvantagens
Tomada de água	Tempo de contato longo. Boa Mistura	Algumas substâncias que seriam removidas por coagulação, floculação, sedimentação e filtração podem ser adsorvidas, aumentando o consumo de CAP.
Chegada de água bruta na ETA	Melhorar controle da dosagem em relação à opção anterior	Mesmas desvantagens. Às vezes tem-se um pré-decantador antecedendo a coagulação.
Unidade de mistura rápida	Mistura eficiente e tempo de contato razoável	Possível redução na taxa de adsorção, pela interferência de coagulantes. Tempo de contato às vezes insuficiente para remoção de certas substâncias.
Entrada dos filtros	Uso eficiente de CAP	Possível passagem de CAP pelo meio filtrante e redução do tempo de contato.

Fonte: Heller e Pádua (2010).

### 3.7 USO DE CARVÃO ATIVADO NO TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA

O tratamento de efluentes líquidos industriais vem sendo um importante tema das questões ambientais, tanto na área de legislação e prevenção à poluição quanto na área de pesquisa e de aplicações tecnológicas. O tratamento biológico de efluentes líquidos é uma das principais preocupações para a adequação à legislação dos sistemas de tratamento dos diversos setores industriais, incluindo os que possuem efluentes com poluentes tóxicos.

Os efluentes resultantes dos processos industriais, se despejados em corpos de água, podem causar sérios danos ambientais. Com a escassez de água potável no mundo, algumas indústrias tratam seus efluentes para serem reusados e apesar de ser uma água de baixa qualidade, seu preço é de 5% do valor da água normal e apresenta grande importância na preservação dos recursos naturais.

Muitas indústrias possuem os meios tecnológicos para o tratamento de efluentes a fim de minimizar o seu impacto na fauna e na flora (aquática ou terrestre). Outras empresas, por falta de recursos ou por simples negligência, servem-se dos rios, lagos e oceanos como destino final desses produtos que permanecem em suspensão, solubilizam ou sedimentam, na maioria das vezes compostos tóxicos (orgânicos), cuja acumulação no meio ambiente trará problemas não só a curto como em longo prazo.

Segundo Cavalcante (2009), uma das tecnologias utilizadas por muitas indústrias para tratar o efluente obtido é a metodologia de adsorção em carvão ativado granulado (CAG) ou carvão ativado em pó (CAP), encontra-se em uso crescente como um processo eficiente e econômico na purificação de despejos líquidos. Possui uma elevada área superficial porosa, com a grande vantagem de possibilidade de poder se regenerar, ou seja, é possível descontaminar o carvão e adquirir novamente seu poder de adsorção. Além de remover as substâncias que produzem gosto, odor e matéria orgânica dissolvida, remove também cor (característica física, devida

à existência de matéria dissolvida), fenóis, nutrientes (fosfatos, nitratos), sólidos em suspensão e matéria orgânica não biodegradável.

Este processo de adsorção consiste na passagem de um líquido através de um leito estático, não fluidizado, de carvão ativado granular até que a capacidade de adsorção do adsorvente se esgote de tal forma que o líquido se encontre dentro dos padrões de qualidade de pureza exigida pela legislação ambiental. Nesse ponto deve ocorrer a regeneração do carvão ou a sua substituição (CAVALCANTE, 2009).

De acordo com Mucciaccito (2006) o carvão ativado pode ser utilizado na fase final de processo biológico em colunas de leito fixo, na fase de polimento, removendo cor ou componentes específicos, como por exemplo, o mercúrio. Também em sistemas tipo lodos ativados, fazendo a remoção de cor e/ou enriquecendo o lodo no número de bactérias por centímetro cúbico. Como suporte para microrganismos em sistemas de filtros biológicos ou processos anaeróbios.

O carvão ativado pode ser também utilizado como pré-tratamento, na eliminação da toxicidade de águas residuárias, pela sua alta capacidade de adsorção e a sua versatilidade, sendo o carvão ativado em pó, largamente utilizado por possibilitar maior flexibilidade operacional. Segundo Eckenfelder & Musterman (1994) o carvão ativado em pó pode reduzir drasticamente a toxicidade dos despejos industriais, reduzindo também o tempo de detenção celular necessário para a nitrificação e o custo de construção e operacional da unidade.

O carvão ativado vem sendo também utilizado para o tratamento do efluente de indústrias farmacêuticas, por apresentar resíduos de saúde bastante diversificado, sendo classificado em vários grupos. Os resíduos líquidos gerados em laboratórios de análises clínicas, especificamente, contêm desde fluídos biológicos, reagentes, meios de cultura dissolvidos, fezes e uma infinidade de compostos químicos. Analisando a composição dos efluentes de laboratórios de análises clínicas, constata-se a presença de microrganismos patogênicos responsáveis pela incidência de doenças relacionadas ao consumo de água (GARCIA, 2004). A tecnologia que vem sendo utilizada para o tratamento desse efluente é a combinação de carvão ativado e da prata para obtenção de água com alto grau de potabilidade, ou

seja, baixa densidade microbiana, o carvão ativado é impregnado com íons de prata, resultando na adsorção do material orgânico pelo carvão ativado e na ação bactericida através dos íons de prata (XAVIER, R.N; TRAGHETTA, D.G; OLIVEIRA, C.M.R. 2010).

O carvão ativado por ser atualmente, o material que apresenta maior capacidade de adsorção, sendo amplamente utilizado para o tratamento de água e efluente vem sofrendo perdas durante o processo de recuperação do adsorvente, sua utilização torna-se, muitas vezes, onerosa (GONÇALVES, 2007; AUTA e HAMEED, 2011). Nesse sentido, existe um crescente interesse na busca de materiais alternativos de baixo custo que possam ser utilizados na produção de carvão ativado.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção apresenta-se a metodologia que foi empregada para o desenvolvimento da pesquisa, sendo realizada a descrição das áreas de coleta de água e esgoto tratado e a caracterização do sistema experimental, além dos seguintes procedimentos experimentais por etapa da pesquisa: *coleta e preparação dos caroços; caracterização do carvão alternativo; montagem dos filtros; qualidade da água e do esgoto tratado e análise estatística.*

### 4.1 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE COLETA DE ÁGUA E ESGOTO TRATADO

#### 4.1.1 Lago Bolonha

A coleta de água bruta foi realizada no lago Bolonha um dos mananciais hídricos que abastece a Região Metropolitana de Belém (RMB), localizado em uma Área de Proteção Ambiental (APA). O lago Bolonha possui uma área de aproximadamente 1,8 km<sup>2</sup> com capacidade de armazenamento de 2.100.000 m<sup>3</sup> de água. Formando com o igarapé do Utinga e o lago Água Preta, uma área de aproximadamente 7,2 km<sup>2</sup>, abastecendo cerca de 80% da população da RMB.

A coleta de água bruta foi realizada no período de 10 semanas, entre os meses de abril, maio e junho de 2013, em um único ponto do lago Bolonha, às proximidades da entrada de água bruta na Estação de Tratamento de Água da Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA). A coleta era efetuada toda segunda-feira, às 10hs da manhã, retirando-se do lago uma amostra simples de 5L de água para posterior abastecimento no filtro alternativo. A Figura 4.1, mostra o mapa de localização do lago Bolonha com o respectivo ponto de coleta.

Figura 4.1: Mapa de localização do lago Bolonha.



Fonte: Google Earth, 2014.

#### 4.1.2 ETE Vila da Barca

A coleta de esgoto foi efetuada na Estação de Tratamento de Esgoto do Conjunto Habitacional da Vila da Barca, localizado no município de Belém – PA, no distrito Sacramenta, no bairro do Telégrafo. O conjunto habitacional é composto de aproximadamente 3.000 habitantes distribuídos em 600 domicílios, compreendendo uma área de 50.100 m<sup>2</sup>, entre a Baía do Guajará e a Avenida Pedro Álvares Cabral. A Figura 4.2, mostra o mapa de localização da ETE de Vila da Barca.

A ETE de Vila da Barca foi construída exclusivamente para atender todo o conjunto habitacional. Todo o efluente doméstico, segue para ETE, passando por diversos níveis tratamentos e em seguida o efluente tratado é lançado na Baía do Guajará.

O sistema de tratamento de esgoto, conforme descrito no projeto original, foi dimensionado para tratar uma vazão de aproximadamente 6,0 L/s na primeira fase do projeto, sendo esta capacidade duplicada para 12 L/s na segunda fase. Na primeira fase, a ETE tem a capacidade para atender a contribuição de uma população com aproximadamente 3.000 habitantes, já

na segunda fase do projeto este atendimento será duas vezes maior, ou seja, para 6.000 habitantes.

Figura 4.2 - Localização da ETE de Vila da Barca.

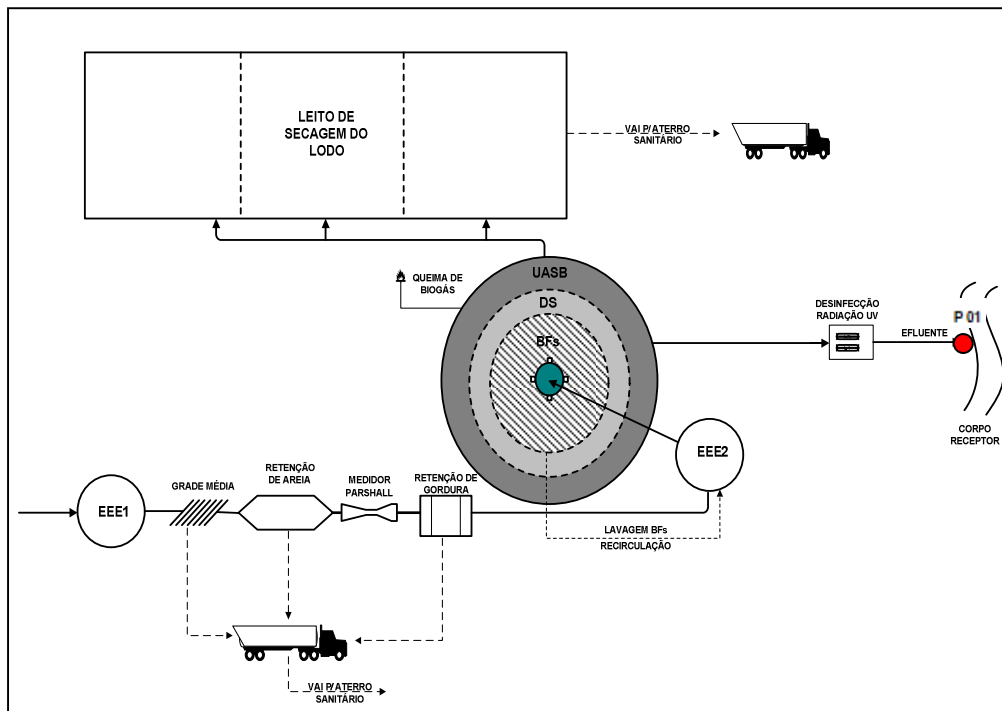


Fonte: Google Earth, 2014.

A ETE é composta pelo sistema de pré-tratamento, estação elevatória de esgoto e lodo de lavagem do biofiltro, unidade suporte para pré-tratamento, reator UASB, biofiltro aerado submerso, decantador secundário, desinfecção por reator ultravioleta, desidratação e estabilização do lodo de descarte em leito de secagem e tratamento de biogás. A Figura 4.3, representa o fluxograma esquemático da ETE, com a composição dos tratamentos e a localização do ponto de amostragem (P01).

A coleta do esgoto foi realizada na saída do tratamento, no qual foram efetuadas no período de 10 semanas, correspondendo aos meses de abril, maio e junho de 2013, sendo retirada uma amostra simples de 5L, toda segunda-feira às 9hs da manhã.

Figura 4.3: Fluxograma esquemático da ETE Vila da Barca e a localização do ponto de amostragem.



Fonte: Pereira, 2012

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL

A pesquisa foi desenvolvida em um sistema experimental piloto, constituído de duas colunas de tubos de PVC, linha esgoto, DN100 mm, com leito filtrante alternativo, um para o tratamento de águas de abastecimento e outro para pós-tratamento de esgoto, ambos com 1,0 m de altura. Utilizou-se apenas uma única camada de leito filtrante de 30 cm de carvão alternativo oriundo da calcinação do caroço de açaí.

Para alimentação dos filtros, foram necessários 5,0 L de água bruta (AB), obtidos na entrada da ETA Bolonha e 5,0 L de esgoto tratado (ET) obtidos na saída da ETE da Vila da Barca. Após a coleta, as amostras eram levadas para o Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas (LAMAG), localizado na Universidade Federal do Pará. Cada filtro era abastecido com 4,0 L de amostra, reservando uma alíquota de 1,0 L de água bruta e esgoto, para serem realizadas as análises das variáveis físico-químicas, para posterior comparação com dados encontrados. As variáveis



da pesquisa foram analisadas 2 vezes por semana (3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> feira). O tempo de contato da amostra de água e esgoto no filtro alternativo foi de 24hs e 48hs.

### 4.3 DELINEAMENTO DAS FASES EXPERIMENTAIS

A pesquisa foi composta de 4 etapas, conforme representado na Figura 4.4.

Figura 4.4: Fluxograma das etapas da pesquisa



#### 4.3.1 Coleta e preparação dos caroços

A fim de reproduzir a realidade da população ribeirinha paraense, principal foco como beneficiário da possível utilização do leite filtrante alternativo, os caroços de açaí foram coletados em vários pontos de venda da polpa do produto na cidade de Belém. Em seguida as amostras foram submetidas a uma lavagem por 10 min somente com água corrente, onde foram retirados os resíduos provenientes do despulpamento do fruto e posteriormente foram expostas ao sol, por aproximadamente 6 horas, com o objetivo de obter uma secagem efetiva da biomassa. A Figura 4.5, mostra os caroços de açaí antes e após a secagem natural.

Figura 4.5: A – antes e B – após secagem natural do material



Fonte: Autora, 2014.

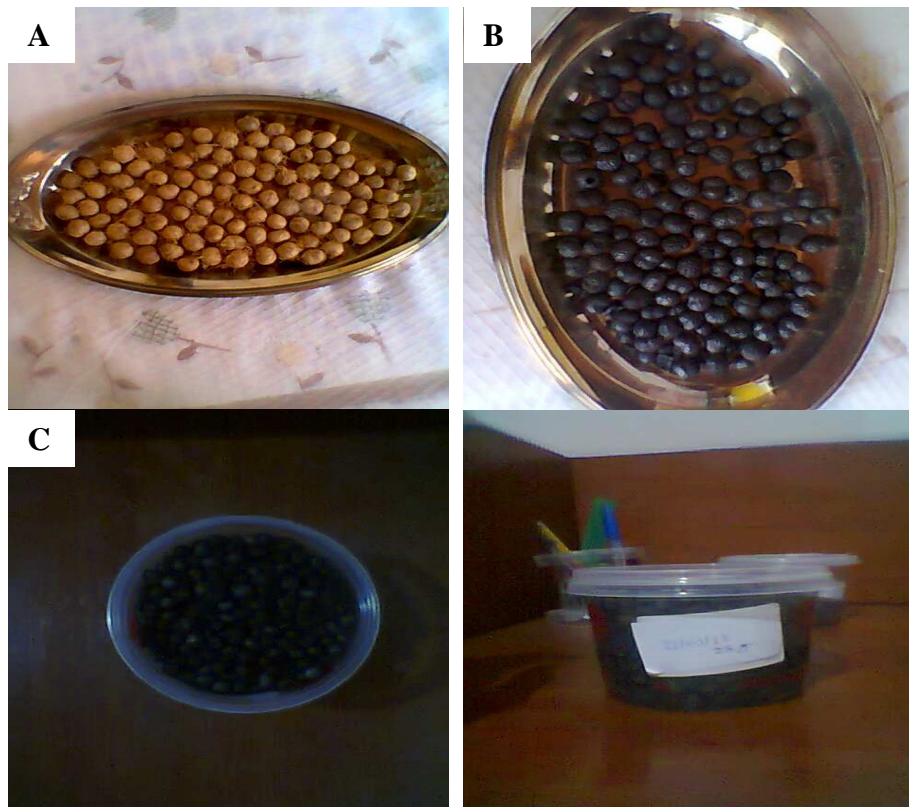
Os caroços de açai foram calcinados em um forno rústico de simples construção composto por tijolos e telhas cerâmicas, no qual 1,0kg de caroços eram queimados por aproximadamente 30 minutos em fogo alto até a percepção visual de que o material estivesse sido totalmente calcinado, conforme mostrado na Figura 4.6. Posteriormente, com os caroços já transformados em carvão fez-se uma segunda lavagem de 15 minutos com água corrente, para a retirada das cinzas da superfície dos caroços. Após todo o processo o material obtido foi submetido a uma nova pesagem e armazenados em vasilhas plásticas. A Figura 4.7, mostra o caroço de açai antes e após calcinação e o local de armazenamento.

Figura 4.6: Forno Rústico



Fonte: Autora, 2014.

Figura 4.7: A - caroço de açaí antes da calcinação; B - caroço de açaí após calcinação e C - local de armazenamento.



Fonte: Autora, 2014.

#### 4.3.2 Caracterização física e química do carvão alternativo

Os ensaios realizados com o carvão alternativo tiveram como objetivo de conhecimento e investigação as características texturais e morfológicas do carvão utilizado, assim como buscar relações que permitam explicar o desempenho resultante na aplicação desse adsorvente no tratamento de água e esgoto. As metodologias utilizadas para obtenção do teor de umidade, densidade e teor de cinzas da biomassa, foram as mesmas empregadas por Nagalshi (2007).

#### 4.3.2.1 Teor de umidade da biomassa

Foram preparadas 5 amostras de biomassa contendo 30 g cada, tomando-se como o peso do material em estado úmido ( $P_u$ ) e em seguida submetidas à secagem em estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  de temperatura, por um período de 24hs até as mesmas atingirem o peso constante ( $P_0$ ) e posteriormente foram resfriadas em dissecador a temperatura ambiente.

O teor de umidade foi determinado com base na relação entre o peso da água contida na biomassa e o peso da mesma em estado úmido, através da Equação (4.1):

$$TU = \frac{P_{(u)} - P_{(0)}}{P_{(u)}} \times 100 \quad \text{Equação (4.1)}$$

Considerando que,

$TU$  - teor de umidade (base úmida), %.

$P_{(u)}$  - peso da biomassa úmida, g.

$P_{(0)}$  - peso da biomassa seca em estufa à  $105^\circ\text{C}$ , g.

#### 4.3.2.2 Densidade a granel da biomassa

A densidade a granel consiste no peso da biomassa contida em um recipiente de volume conhecido determinada com base na Equação (4.2).

$$D_{(granel)} = \frac{P}{V} \quad \text{Equação (4.2)}$$

Considerando que,

$D_{(granel)}$  - densidade ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

$P$  - peso do material (kg).

$V$  - volume do recipiente ( $\text{m}^3$ ).

#### 4.3.2.3 Teor de cinzas da biomassa

A cinza é o resíduo de óxidos minerais conseguidos pela combustão completa do material (GOMES e OLIVEIRA, 1980). As determinações do teor de cinzas foram realizadas no Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas (LAMAG), utilizando-se um forno mufla (QUIMIS). Foram preparados cinco cadinhos contendo 15g de caroços secos em estufa por 24h e posteriormente foram submetidas à calcinação no mesmo forno mufla a 550°C, durante 6h e após esse tempo deixado esfriar em dissecador à temperatura ambiente. O teor de cinzas foi determinado por meio da equação (4.4).

$$Tci = \frac{P_{(ci.)}}{P_{(b.s.)}} \times 100 \quad \text{Equação (4.3)}$$

Considerando que,

$Tci$  - teor de cinzas (%).

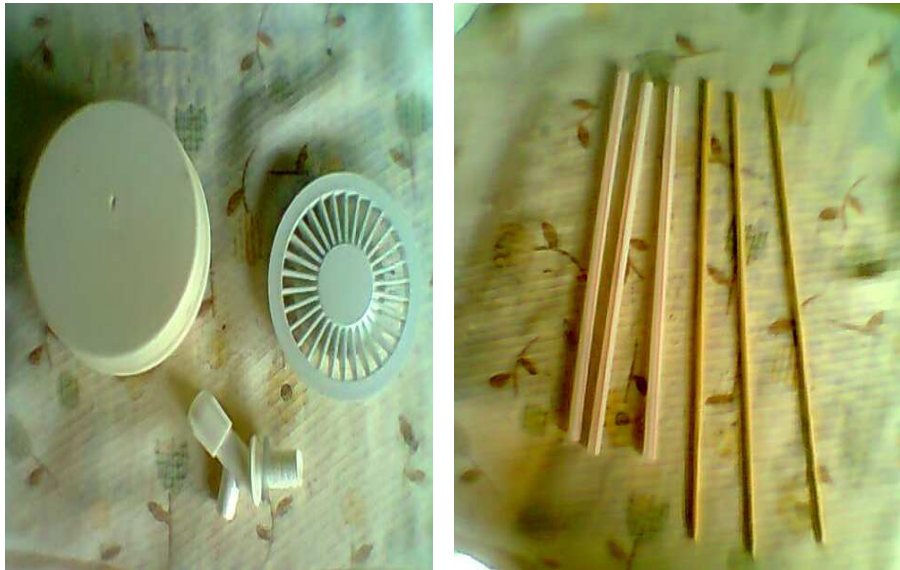
$P_{(ci.)}$  - peso do material incinerado (cinzas) a 550 °C durante 6 horas (g).

$P_{(b.s.)}$  - peso do material seco em estufa à 105°C (g).

#### 4.3.3 Montagem dos filtros

Para a construção de cada filtro, foram utilizados: 1,0 m de tubo de PVC, um cap e uma grelha de ralo sifonado, todos de 100 mm de diâmetro; uma torneira de filtro; três palitos de churrasco e três canudinhos de plásticos; e um adesivo de silicone (Figura 4.8).

Figura 4.8: Componentes do filtro

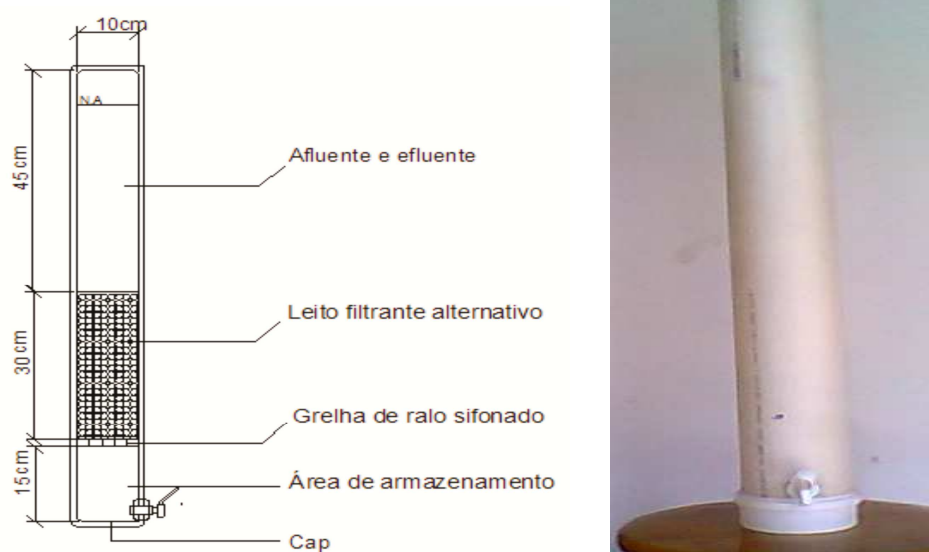


Fonte: Autora, 2014.

Com o uso de uma furadeira foi feito um orifício na parte inferior do tubo de PVC, com o diâmetro aproximadamente igual ao da torneira a ser utilizada. Em seguida, colocaram-se os palitos dentro dos canudinhos, com o objetivo de evitar o contato da água com a madeira do palito. Posteriormente os palitos foram amarrados na grelha de ralo sifonado, com o propósito de servirem como suporte. Com os materiais já preparados, foi colocado o ralo dentro do tubo, logo após, foi posto à torneira no orifício, acompanhado do cap colocado na boca do tubo. A Figura 4.9, mostra o desenho esquemático e a fotografia do filtro construído.



Figura 4.9: Desenho esquemático e fotografia do filtro construído.



Fonte: Autora, 2014.

#### 4.3.4 Qualidade da água e do esgoto tratado

A qualidade da água e do esgoto proveniente do processo de filtração alternativo foi determinada no Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas (LAMAG) da UFPA, conforme os procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). Nas Tabelas 4.1 e 4.2 podem ser observadas as metodologias, referências e limites de detecções (LD) aplicadas para cada variável analisada no sistema.

Tabela 4.1: Metodologias, Referências e Limites de detecção (LD), aplicados no Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas (LAMAG) da UFPA, para amostras de água.

Variável	Metodologia	Referência	LD
pH	Potenciometria	pH-metro ORION 3 STAR	14
Turbidez (uT)	Turbidímetro	Turbidímetro SL 2K	1000 uT
Cor (uC)	Espectofotometria	Hatch - Espectrofotômetro DR-3900	500 uC
Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Potenciometria	Condutivímetro PH TEK - CD 203	
Dureza (mg - $\text{CaCO}_3/\text{L}$ )	Espectofotometria	Hatch - Espectrofotômetro DR-3900	10 mg/L
Dureza (mg - $\text{MgCO}_3/\text{L}$ )	Espectofotometria	Hatch - Espectrofotômetro DR-3900	2,5 mg/L
ST (mg/L)	Gravimetria	STANDARD METHODS	
SS (mg/L)	Gravimetria	STANDARD METHODS	
SD(mg/L)	Gravimetria	STANDARD METHODS	

Fonte: Autor, 2014.

Tabela 4.2: Metodologias, Referências e Limites de detecção (LD), aplicados no Laboratório Multiusuário de Tratabilidade de Águas (LAMAG) da UFPA, para as amostras de esgoto.

Variável	Metodologia	Referência	LD
pH	Potenciometria	pH-metro ORION 3 STAR	14
DQO (mg $\text{O}_2/\text{L}$ )	Oxidação $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Hatch - Espectrofotômetro DR-3900	150 mg/L
N-Amoniacal (mg/L)	Espectofotometria	Hatch - Espectrofotômetro DR-3900	10 mg/L
N-Nitrato (mg/L)	Espectofotometria	Hatch - Espectrofotômetro DR-3900	10 mg/L
Fósforo Total (mg/L)	Espectofotometria	Hatch - Espectrofotômetro DR-3900	10 mg/L
ST (mg/L)	Gravimetria	STANDARD METHODS	
SS (mg/L)	Gravimetria	STANDARD METHODS	
SD (mg/L)	Gravimetria	STANDARD METHODS	
SF (mg/L)	Gravimetria	STANDARD METHODS	
SV (mg/L)	Gravimetria	STANDARD METHODS	

Fonte: Autor, 2014.



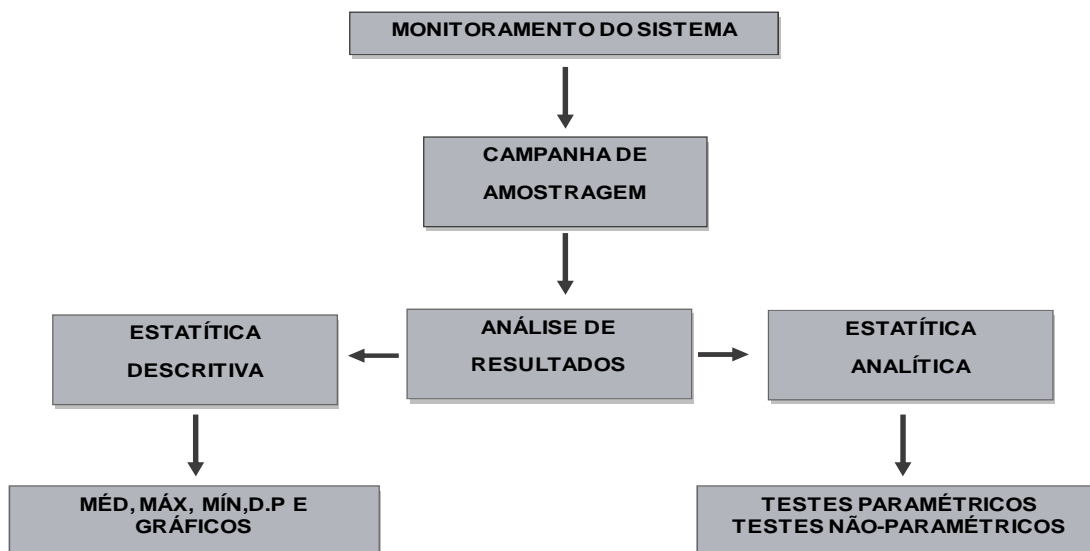
## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise dos resultados de determinação das variáveis propostas neste trabalho de pesquisa foi feita através de análises estatísticas e dividida em duas partes: *Estatística descritiva* para a Etapa II - de caracterização do carvão alternativo, e Etapa IV - Qualidade da água e do esgoto tratado pelo filtro alternativo e a *Estatística Analítica*, somente para Etapa IV.

A coleta das amostras de água bruta e esgoto foram realizados em dez campanhas de amostragem, onde foram coletadas 1 (uma) amostra simples de 5L em cada campanha, totalizando 10 (dez) amostras ao final das campanhas que foram realizadas semanalmente.

A alimentação dos filtros ocorria por batelada, eram abastecidos com 4,0 L da amostra, separando uma alíquota de 1,0 L de água bruta e esgoto tratado, para serem realizadas as análises das variáveis físico-químicas. As variáveis da pesquisa foram analisadas 2 vezes por semana (3ª e 4ª feira), com um tempo de contato da amostra de água e esgoto no filtro alternativo de 24hs e 48hs. Totalizando 30 amostras para cada variável físico-química, para serem analisadas. A Figura 5.1, ilustra o monitoramento experimental do sistema com as respectivas análises estatísticas.

Figura 5.1: Fluxograma de monitoramento experimental do sistema



Fonte: Autora, 2014

## 5.1 ANÁLISE DA ETAPA II (CARACTERIZAÇÃO DO CARVÃO ALTERNATIVO)

Nesta fase foram realizadas inferências de ***Estatística descritiva*** (*Média, Máximo, Mínimo, Desvio Padrão e o erro padrão*) para avaliar os resultados de análises das seguintes variáveis: teor de umidade, teor de cinzas e densidade. O objetivo é identificar através dessas inferências a relevância nas características do caroço de açaí calcinado.

## 5.2 ANÁLISE DA ETAPA IV (QUALIDADE DA ÁGUA E DO ESGOTO TRATADO PELO FILTRO ALTERNATIVO)

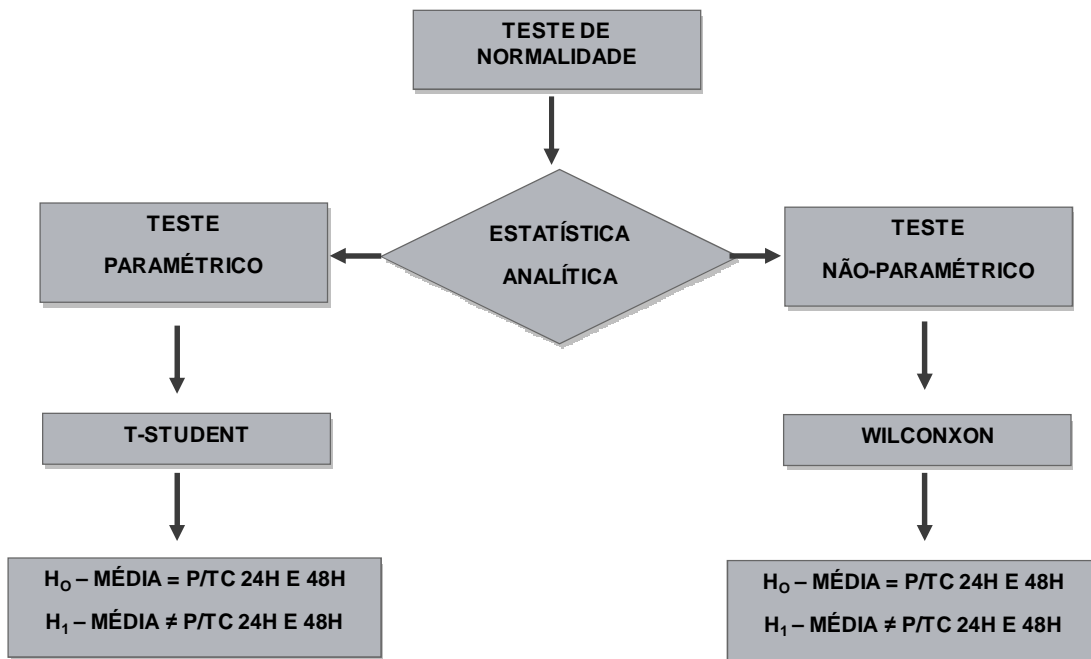
### 5.2.1 Estatística Descritiva

A estatística descritiva possibilitou avaliar as variações nos dados amostrais da água e do esgoto pós-tratamento, com tempos de contato de, 24hs e 48hs de permanência da amostra em cada filtro. Foram realizadas inferências (*Média, Máximo, Mínimo, Desvio Padrão e gráficos Box-plot*).

### 5.2.2 Estatística Analítica

Com a estatística analítica, objetivou-se identificar qual o melhor tempo de contato (24hs e 48hs) a ser utilizado para o filtro alternativo contendo somente como leito filtrante o caroço de açaí calcinado. Nessa avaliação foram realizadas inferências como: (a) *Teste de Normalidade* (b) *Teste de Hipóteses Paramétrico*; (c) *Teste de Hipóteses Não-Paramétrico*, para os resultados das análises das variáveis relativas aos dois tempos de detenção da Fase IV da pesquisa. A Figura 5.2, ilustra o fluxograma de análise dos resultados através da estatística analítica.

Figura 5.2: Fluxograma de análise dos resultados (Estatística Analítica - Fase IV).



Fonte: Autora, 2014.

(a) *Teste de Normalidade aplicado*

O teste foi aplicado para verificar se os valores da amostra são compatíveis com a população que ela representa, tendo assim uma distribuição normal (AYRES, 2012). Nesse teste foi avaliada a distribuição dos dados amostrais de cada variável em estudo, sendo verificado se os dados dos pares dos dois grupos de escores dos mesmos indivíduos (24hs e 48hs) são paramétricos (possuem distribuição normal) ou não paramétricos (não possuem distribuição normal).

O teste selecionado foi o **Shapiro-Wilk (teste W)**, pois calcula amostras:  $2 < n < 50$ . O resultado do teste é obtido dividindo-se o quadrado da combinação linear apropriada dos valores ordenados da amostra pela variância simétrica estimada (AYRES, 2012).

*(b) Teste de Hipóteses Paramétrico aplicado*

O teste paramétrico foi selecionado, pois a maioria das variáveis dos dois grupos de escores dos mesmos indivíduos (24hs e 48hs), para as amostras extraídas que obedeceram a uma distribuição normal ou com variâncias iguais ou muito próximas, ou seja, dados com uma distribuição normal. De acordo com Triola (2011) o teste é aplicado mesmo quando ocorram pequenos desvios de normalidade ou da variância entre os dados amostrais.

O teste selecionado para aplicação foi o **t-Student para dados pareados**. O teste é destinado a verificar se os dois grupos de escores dos mesmos indivíduos (24hs e 48hs), não apresentam diferença em relação à média. Esse teste é classificado como bicaudal, e foi aplicado com o nível de significância ( $\alpha$ ) igual a 0,05 para um intervalo de confiança de 95% e graus de liberdade igual a 9 (nove), onde  $(n-1) = (10-1) = 9$ .

*(c) Teste de Hipóteses Não-Paramétrico Aplicado*

Esse teste foi selecionado, para algumas variáveis dos dois grupos de escores dos mesmos indivíduos (24hs e 48hs) que não obedeceram a uma distribuição normal. De acordo com Triola (2011), os testes não-paramétricos são, em geral, chamados de **testes de livre distribuição**.

O teste não-paramétrico aplicado foi o de **Postos com Sinais de Wilcoxon**, que usa os postos de dados amostrais compostos de dados emparelhados (pares). De acordo com Triola (2011), esse teste é usado com uma hipótese nula de que as diferenças populacionais dos pares dos mesmos indivíduos (24hs e 48hs) têm uma média ou mediana igual à zero. Em outras palavras, o teste admite que não exista diferença entre as médias ou medianas populacionais dos pares.

➤ **Hipóteses formuladas no estudo**

As hipóteses formuladas para os testes paramétricos e não paramétricos tornaram possível verificar as diferenças entre os tempos de contato, ou seja, o tempo necessário para que ocorra uma filtração mais eficiente. Os tempos analisados foram (24hs e 48hs), para cada variável físico-química composta do sistema de filtração alternativo de água e de esgoto. As hipóteses formuladas são descritas abaixo:

$H_0$  = A média dos dados amostrais das variáveis físico-química representativas na **filtração de água** é igual nos tempos de contato de 24hs e 48hs no filtro alternativo.

$H_1$  = A média dos dados amostrais das variáveis físico-química representativas na **filtração de água** é diferente nos tempos de contato de 24hs e 48hs no filtro alternativo.

$H_0$  = A média dos dados amostrais das variáveis físico-química representativas na **filtração do esgoto pós-tratamento** é igual nos tempos de contato de 24hs e 48hs no filtro alternativo.

$H_1$  = A média dos dados amostrais das variáveis físico-química representativas na **filtração do esgoto pós-tratamento** é diferente nos tempo de contato de 24hs e 48hs no filtro alternativo.

O resultado do teste forneceu informações indicando se há ou não evidência suficiente para garantir a rejeição da afirmativa da hipótese nula ( $H_0$ ). Em outros termos, quando a hipótese nula ( $H_0$ ) é rejeitada será aceita como verdadeira a hipótese alternativa ( $H_1$ ). Para rejeitar ou deixar de rejeitar a hipótese nula ( $H_0$ ) foi observado no resultado do teste o valor  $P$ , conforme descrito abaixo:

Se o valor  $P \leq \alpha$  (onde  $\alpha = 0,05$ ) rejeitar  $H_0$ ;

Se o valor  $P > \alpha$ , deixar de rejeitar  $H_0$ .

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item são apresentados os resultados obtidos neste trabalho para as Etapas II (caracterização do carvão alternativo) e IV (qualidade da água e do esgoto tratado pelo filtro alternativo), bem como as discussões concernentes aos objetivos propostos e procedimentos aplicados para determinação dos mesmos.

Desta forma, inicialmente, são apresentados e discutidos os resultados obtidos na Fase II, referentes às variáveis analisadas e avaliadas por meio de estatística descritiva, sobre a caracterização do caroço de açaí calcinado.

Na sequência, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos na Fase IV (qualidade da água e do esgoto tratado pelo filtro alternativo), que se referem às variáveis analisadas da filtração, para os tempos de contato (24hs e 48hs). Variáveis estas avaliadas através de estatística descritiva, que tornou possível identificar as variações dos dados amostrais; e estatística analítica que possibilitou identificar qual o melhor tempo a ser utilizado na filtração de água e esgoto, para que o carvão alternativo possa adsorver uma quantidade significativa de materiais.

### 6.1 RESULTADOS DAS VARIÁVEIS ANALISADAS NA ETAPA II (CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DO CARVÃO ALTERNATIVO).

#### 6.1.1 Teor de umidade

Os caroços de açaí coletados apresentaram elevados teores de umidade, sendo registrado o valor médio de 40,72 % conforme mostrado na Tabela 6.1. A variação foi pequena, resultado já esperado, uma vez que os caroços coletados tinham sido recentemente despulpados.

Tabela 6.1: Teor de umidade dos caroços de açaí.

Análise descritiva	Teor de umidade %
Média	40,72
Máximo	43,26
Mínimo	39,79
Desvio padrão	1,46
Erro padrão	0,65

Fonte: Autora, 2014.

Nagalshi (2007), verificou que todas as estruturas do açaí podem ser utilizadas, para fins energéticos e outros, sendo que o caroço foi o mais promissor, pois além de oferecer melhores características físicas, químicas e térmicas, em comparação com as demais analisadas (cacho, folha e estipe), apresenta melhor material para o manuseio e maior disponibilidade.

O valor médio para o teor de umidade encontrado por Nagalshi (2007), foi de 43,57% bem próximo do encontrado nesta pesquisa.

Nagalshi (2007), evidencia que os altos teores de umidade ocorrem devido os caroços terem sido recém despolidos, havendo necessidade de submetê-los a um tratamento de secagem natural até atingir a umidade de equilíbrio com o meio ambiente.

Os valores médios de umidade encontrados nos carvões vegetais obtidos a partir de outros produtos residuais é aproximadamente 8%, não podendo exceder mais que este valor para que se torne um bom carvão. (BARROS, 2006).

### 6.1.2 Teor de cinzas

O teor de cinzas corresponde a composição mineral existente nas estruturas vegetativas da planta. Segundo Barcellos *et. al* (2005) os principais minerais encontrados são cálcio, magnésio, fósforo e silício para o caso de madeira, os mesmos afirmaram que o teor de cinzas depende diretamente da quantidade de materiais inorgânicos existentes no material incinerado.

Pinho (2005) em seus estudos de caracterização de resíduos do setor agroindustrial e madeireiro, tais como cacho seco de amêndoa,

serragem, caroço de açaí, fibra de dendê, casca de castanha do Pará, encontrou teores de cinzas entre 0 a 5%.

A média de teores de cinza encontrados nesta pesquisa foi de 1,09% conforme mostrado na Tabela 6.2. Os resultados mostram que as cinzas do caroço de açaí estão próximas aos valores médios encontrados nos carvões vegetais obtidos a partir de outros produtos residuais, pois um bom carvão não deve exceder a 3% - 4% de cinzas (BARROS, 2006).

O baixo teor de cinzas apresentado pelo caroço de açaí faz com que após a ativação haja um aumento na área superficial do material (SHIN *et al.*, 2008) sendo essencial no processo de adsorção. Assim, ocorre um aumento nos microporos que são importantes no processo de adsorção (AWORN *et al.*, 2008).

Tabela 6.2: Teor de cinzas dos caroços de açaí

Análise descritiva	Teor de cinzas %
Média	1,09
Máximo	1,25
Mínimo	0,96
Desvio padrão	0,1
Erro padrão	0,04

Fonte: Autora, 2014.

### 6.1.3 Densidade a granel do caroço de açaí

Na Tabela 6.3, encontram-se a análise descritiva de densidade a granel referente aos caroços de açaí antes e pós calcinação, tendo valores médios de  $1,65 \pm 0,21$  g/cm<sup>3</sup> antes da calcinação e  $0,93 \pm 0,19$  g/cm<sup>3</sup> pós-calcinação. Densidade considerada alta devido à estrutura desse material ser bastante sólido.



Tabela 6.3: Densidade a granel dos caroços de açaí antes e após calcinação.

Análise descritiva	D (g/cm <sup>3</sup> ) antes calcinação	D (g/cm <sup>3</sup> ) depois calcinação
Média	1,65	0,93
Máximo	2,03	1,25
Mínimo	1,21	0,56
Desvio padrão	0,21	0,19
Erro padrão	0,05	0,05

Fonte: Autora, 2014.

Nagalshi (2007), constatou em sua pesquisa que a alta densidade dos caroços em relação às demais estruturas vivas da planta, associado à abundância, ao fácil manuseio e estocagem favorece o uso dessa biomassa como combustível seja em seu estado natural ou em forma de carvão vegetal. Deste modo para a finalidade desta pesquisa, a biomassa em estudo torna-se também favorável.

Verificou-se que um metro cúbico de caroço despulpado de açaí a granel representa em média **930 kg**. Esta informação é importante, haja vista que o transporte e o manuseio, em sua grande maioria são realizados em recipiente. Houve uma redução de 43% na densidade dos caroços de açaí após calcinação.

## 6.2 RESULTADOS DAS VARIÁVEIS ANALISADAS NA ETAPA IV (QUALIDADE DA ÁGUA E DO ESGOTO TRATADO PELO FILTRO ALTERNATIVO).

Conforme proposto na metodologia do trabalho, inferências de *Estatística descritiva (Média, Máximo, Mínimo, Desvio Padrão e gráficos)* foram realizadas nos resultados das variáveis analisadas na caracterização da qualidade da água e do esgoto tratado pelo filtro alternativo. Os valores médios das variáveis estudadas, nas dez semanas de funcionamento do filtro, podem ser observados nas Tabelas 6.4 e 6.5.

Tabela 6.4: Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis monitoradas do filtro alternativo, contendo água.

Água Bruta	pH	Turbidez (uT)	Cor (uC)	Condutividade (µS/cm)	Dureza (mg - CaCO <sub>3</sub> /L)	Dureza (mg - MgCO <sub>3</sub> /L)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)
Mínimo	5,96	7,1	102	32	67	2,77	10	2	6
Máximo	7,54	15	155	65	91,4	3,35	260	27,33	238
Média	6,51	11,41	130,73	46	80,23	2,97	99,6	11,71	87,89
Desv.pad.	0,459	2,79	17,44	9,72	7,72	0,177	82,16	7,73	76,11
Tratado 1	pH	Turbidez (uT)	Cor (uC)	Condutividade (µS/cm)	Dureza (mg - CaCO <sub>3</sub> /L)	Dureza (mg - MgCO <sub>3</sub> /L)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)
Mínimo	6,6	6,52	65	83	48,6	2,16	41	5	34,5
Máximo	7	23,4	192	95	119,2	3,35	201	26,33	174,7
Média	6,78	10,46	113,44	90	75,1	2,51	102,37	11,57	91,17
Desv.pad.	0,138	5,14	36,77	4,97	21,93	0,343	49,09	8,17	42,5
Tratado 2	pH	Turbidez (uT)	Cor (uC)	Condutividade (µS/cm)	Dureza (mg - CaCO <sub>3</sub> /L)	Dureza (mg - MgCO <sub>3</sub> /L)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)
Mínimo	6,15	4,5	48	91	34	2,15	90	0,7	59,4
Máximo	7,06	15	142,9	112	110	2,75	434	30,6	424
Média	6,81	7,7	86,07	102	74,5	2,38	175	9,02	168,91
Desv.pad.	0,293	2,97	32,18	6,78	22,81	0,19	107,62	8,78	105,55

Fonte: Autora, 2014.

Tabela 6.5: Valores mínimos, máximos, médios e desvio padrão das variáveis monitoradas do filtro alternativo, contendo esgoto.

Esgoto Tratado	pH	DQO (mg/L)	N-Amoniacal (mg/L)	N-Nitrato (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)	SF (mg/L)	SV (mg/L)
Mínimo	7	41	3,5	0,3	10,4	65	3,4	58,7	16	49
Máximo	7,4	81	105	0,5	67,9	443	27,33	382	276	255
Média	7,14	59,2	63,81	0,41	20,08	244,7	11,943	227,98	118,1	126,6
Desv.pad.	0,13	13,57	43,58	0,05	17,3	118,28	6,8	108,75	87,44	64,83
Tratado 1	pH	DQO (mg/L)	N-Amoniacal (mg/L)	N-Nitrato (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)	SF (mg/L)	SV (mg/L)
Mínimo	6,53	19	11,4	1,1	10,1	346	2,7	331,4	136	84
Máximo	7,01	55	31,5	5,8	55	527	34	493	385	236
Média	6,78	35,4	23,88	3,13	27,41	450	15,04	434,87	303,1	146,9
Desv.pad.	0,16	11,65	6,89	1,69	10,98	54,68	9,99	55,71	93,4	51,77
Tratado 2	pH	DQO (mg/L)	N-Amoniacal (mg/L)	N-Nitrato (mg/L)	Fósforo Total (mg/L)	ST (mg/L)	SS (mg/L)	SD (mg/L)	SF (mg/L)	SV (mg/L)
Mínimo	6,3	12	1,4	1,4	9	120	2	108	95	25
Máximo	7,11	44	27,2	7,7	81,6	511	12	505,6	387	171,3
Média	6,63	26,2	17,69	3,9	30,5	415,1	6,15	428,57	286,8	127,73
Desv.pad.	0,23	9,6	8,51	2,23	19,83	121,33	2,81	120,41	98,02	43,51

Fonte: Autora, 2014.

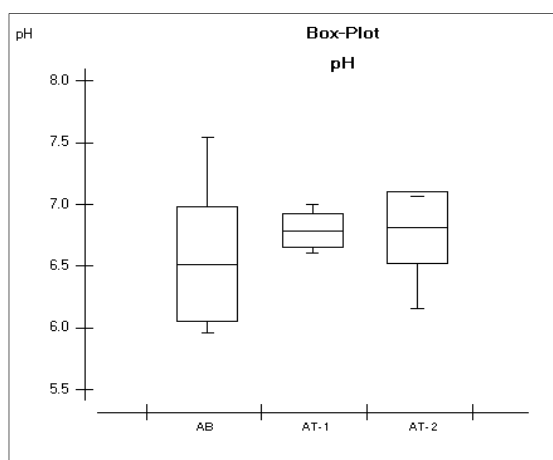
### 6.2.1 Resultado do processo de filtração para água bruta

Os resultados das variáveis estudadas no processo de filtração para água estão expostos através de gráficos box-plot, exibindo os valores médios, o menor e o maior escore através do limite inferior e superior de linhas retas verticais. Pode-se verificar também em alguns gráficos, a presença de valores extremos (*outliers*), representados através de pequenos círculos acima ou abaixo das linhas verticais do gráfico.

#### pH

Os valores de pH analisados no processo de filtração alternativo, apresentaram uma pequena variação. Observando a distribuição da média entre a água bruta (AB), tratado 1 (AT-1) e tratado 2 (AT-2), a menor média foi de  $6,51 \pm 0,45$  indicada por AB e a maior de  $6,81 \pm 0,29$  indicada pelo AT-2, não havendo alterações significativas e ficando próximo da neutralidade. O parâmetro encontra-se de acordo com a Portaria nº 2.914/11 do Ministério da Saúde que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, no qual estabelece um pH variando entre 6,0 à 9,5. Os valores mínimos, médios e máximos juntamente com os desvios podem ser observados na Figura 6.1.

Figura 6.1: Box-plot da variável pH antes e após filtração alternativa.



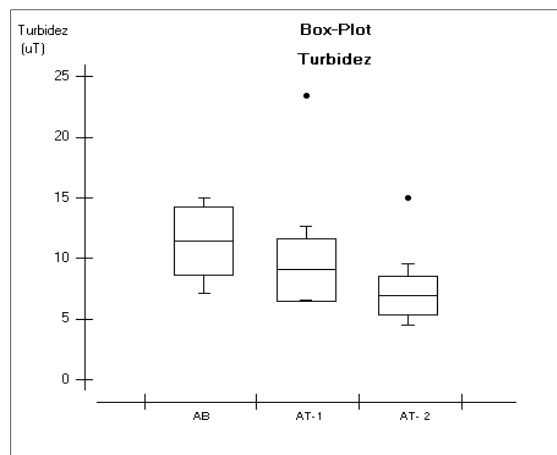
Fonte: Autora, 2014.

Pereira (2012) utilizou caroço de açaí como leito filtrante e encontrou valores de pH entre 6,5 antes da filtração e 7,0 após filtração, valores estes que ficaram bem próximos dos encontrados nesta pesquisa.

## Turbidez

Para a variável turbidez obteve-se médias variando entre  $11,41 \pm 2,79$  uT para AB,  $10,46 \pm 5,14$  uT para AT-1 e  $7,7 \pm 2,97$  uT para AT-2, observando-se que houve um decréscimo de 8,33% desta variável para um tempo de 24hs e 32,51% para o tempo de 48hs. A Figura 6.2, ilustra os valores médios, máximos e mínimos e os respectivos desvios. Observou-se no gráfico a presença de dois *outliers*, valores que são considerados extremos com relação à média dos dados. A filtração alternativa mesmo mostrando-se eficiente quanto à variável em estudo, a mesma não se enquadrou ao VMP de 1 uT, recomendado pela Portaria nº 2.914/11 do MS. A Figura 6.2, ilustra os valores médios, máximos, mínimos e os respectivos desvios.

Figura 6.2: Box-plot da variável turbidez antes e após filtração alternativa.

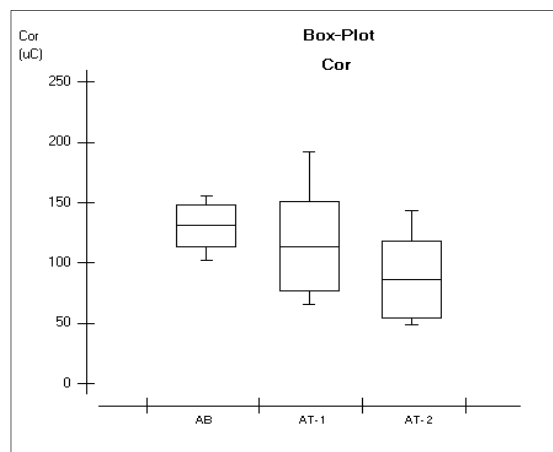


Fonte: Autora, 2014.

## Cor

Quanto aos resultados da variável cor para AB, AT-1, AT-2, com os tempos de contato de 0h, 24hs e 48hs, apresentaram valores médios de  $130,73 \pm 17,44$  uC ,  $113,44 \pm 36,77$  uC ,  $86,07 \pm 32,18$  uC, respectivamente. Obtendo-se uma maior eficiência de remoção de 34,16 % para AT-2. A Portaria n° 2.914/11 do MS, estabelece como valor máximo permitido (VMP) de 15 uC para água de consumo, portanto, a referida variável não enquadrou-se no limite estabelecido pela supracitada legislação. A Figura 6.3, ilustra os valores médios, máximos, mínimos e os respectivos desvios.

Figura 6.3: Box-plot da variável cor antes e após filtração alternativa.



Fonte: Autora, 2014.

## Condutividade Elétrica

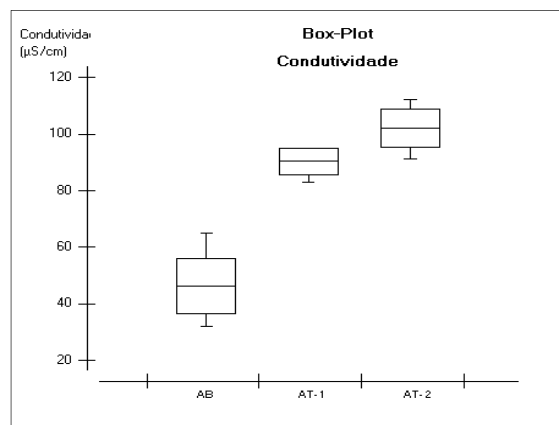
Para a variável condutividade elétrica obteve-se valores médios de  $46 \pm 9,72$   $\mu$ S/cm para AB,  $90 \pm 4,97$   $\mu$ S/cm para AT-1 e  $102 \pm 6,78$   $\mu$ S/cm para AT-2, observando-se uma elevação gradativa dos valores após passarem pelo filtro alternativo.

Segundo Esteves (1988), a condutividade elétrica de uma solução é a capacidade desta em conduzir a corrente elétrica. Considerando-se que essa capacidade é em função da concentração dos íons presentes, é de se esperar que em soluções de maior concentração iônica seja maior a

condutividade elétrica. O fator que determina a condutividade é a presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em cátions e ânions. Esse parâmetro fornece uma boa indicação da composição das águas, especialmente na sua concentração mineral, porém não indica as quantidades relativas dos vários componentes.

Segundo Von Sperling (1998 *apud* Ruas, 2006) à medida que mais sólidos dissolvidos são adicionados, a condutividade específica da água aumenta. Afirmação esta que pode justificar o aumento dos valores de condutividade elétrica encontrada pós-filtração. A Figura 6.4, ilustra os valores médios, máximos, mínimos e os respectivos desvios.

Figura 6.4: Box-plot da variável condutividade elétrica antes e após filtração alternativa.



Fonte: Autora, 2014.

## Dureza

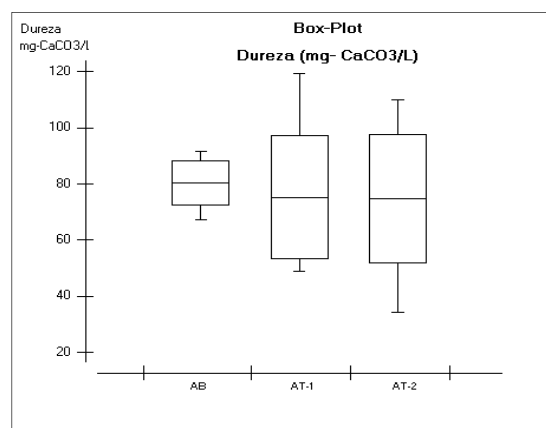
A Portaria nº 2.914/11 do MS que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências, determina VMP (Valor Máximo Permitido) equivalente a 500 mg/L para o parâmetro Dureza em água potável destinada ao consumo humano.

Portanto, de acordo com os resultados da dureza apresentados na Figura 6.5. Os valores médios ficaram compreendidos entre  $80,23 \pm 7,72$  mg-CaCO<sub>3</sub>/L para AB,  $75,1 \pm 21,93$  mg-CaCO<sub>3</sub>/L para AT-1 e  $74,5 \pm 22,81$  mg-CaCO<sub>3</sub>/L para AT-2, havendo uma redução de 6,1% para AT-1 e 7,5% para AT-2. Valores, considerados dentro dos padrões de ingestão humana e devidamente enquadrados ao nível previsto pelo requisito legal vigente.

De acordo com a UFV (2008) a classificação das águas em termo de dureza é de: menor que 50 mg/L CaCO<sub>3</sub> água mole, entre 50 e 150 mg/L CaCO<sub>3</sub> água com dureza moderada, entre 150 e 300 mg/L CaCO<sub>3</sub> água dura e maior que 300 mg/L CaCO<sub>3</sub> água muito dura. Conforme a classificação supracitada, a água após passagem do filtro enquadrou-se como moderadamente dura.

Pereira (2012) encontrou valores médios para dureza total de 87,33 mg/L antes da filtração e 75,81 mg/L pós-filtração, valores estes que ficaram próximos dos encontrados nesta pesquisa. A Figura 6.5 ilustra os valores médios, máximos, mínimos e os respectivos desvios.

Figura 6.5: Box-plot da variável dureza (mg-CaCO<sub>3</sub>/L) antes e após filtração alternativa.



Fonte: Autora, 2014.

## Série de Sólidos

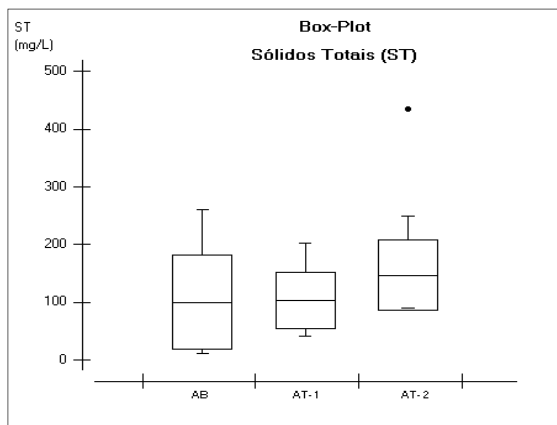
De acordo com os resultados da série de sólidos apresentados nas Figuras 6.6, 6.7 e 6.8. Os valores médios de sólidos totais (ST) ficaram compreendidos entre  $99,6 \pm 82,16$  mg/L para AB,  $102,1 \pm 49,09$  mg/L para AT-1 e  $175 \pm 107,62$  mg/L para AT-2, ocorrendo um aumento significativo desta variável para os tempos de 24hs e 48hs. Os resultados elevados podem ser justificados pela presença de grande quantidade de resíduos de cinza do caroço de açaí calcinado sendo eliminados na água.

Com relação aos valores médios de sólidos suspensos (SS) para os tempos de contato de 0hs, 24hs e 48hs, apresentaram valores iguais a  $11,7 \pm 7,73$  mg/L para AB,  $11,58 \pm 8,17$  mg/L para AT-1 e  $9,02 \pm 8,78$  mg/L para AT-2. Obtendo-se uma eficiência de remoção de 1,02% para o tempo de contato de 24hs e 23% para o tempo de contato de 48hs conforme mostrado na Tabela 6.7.

Para variável sólidos dissolvidos (SD) os valores médios obtidos foram:  $87,9 \pm 76,11$ mg/L para AB,  $91,17 \pm 42,5$  mg/L para AT-1 e  $168,9 \pm 105,5$  mg/L para AT-2 ocorrendo um aumento gradativo desta variável no sistema, não alcançando nenhuma eficiência. O aumento pode ser justificado pela grande quantidade de cinzas depositados na água por conta do caroço de açaí calcinado, mesmo com o aumento desta variável no sistema, a mesma ainda encontra-se em conformidade com a Portaria nº 2.914/11 do MS que estabelece como valor máximo permitido para água de consumo de 1000 mg/L de sólidos dissolvidos na água.

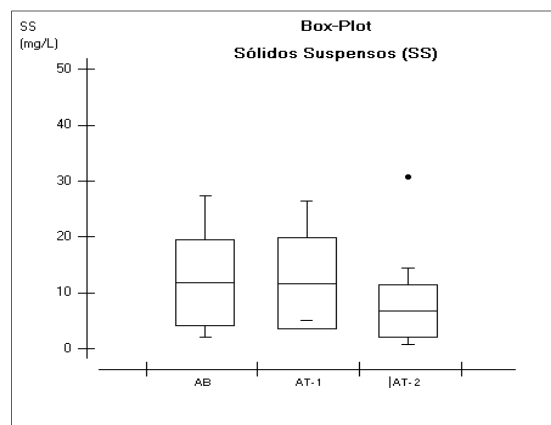


Figura 6.6: Box-plot da variável Sólidos Totais antes e após filtração alternativa.



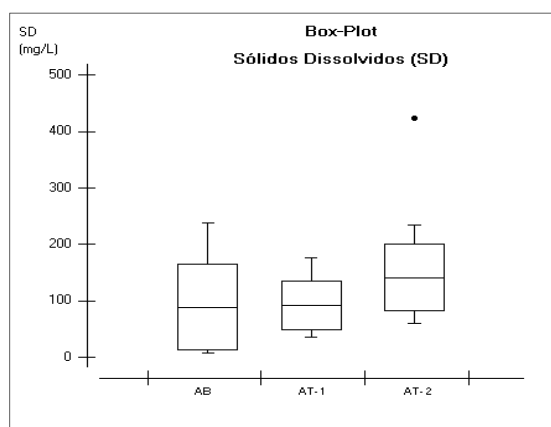
Fonte: Autora, 2014.

Figura 6.7: Box-plot da variável Sólidos Dissolvidos antes e após filtração alternativa.



Fonte: Autora, 2014.

Figura 6.8: Box-plot da variável Sólidos Dissolvidos antes e após filtração alternativa.



Fonte: Autora, 2014.

A Tabela 6.6, mostra os resultados do processo de filtração alternativo para água bruta do Lago Bolonha com suas respectivas médias e eficiência de remoção de cada variável para os tempos de contato de 24hs e 48hs.

Tabela 6.6: Resultados do processo de filtração para água.

Variáveis	Médias Água Bruta	Médias de AT-1 (TC 24hs)	Médias de AT-2 (TC 48hs)	Eficiência de remoção (%) TC 24hs	Eficiência de remoção (%) TC 48hs	Padrões de Potabilidade - Portaria 2914/11
pH	6,51	6,79	6,81	-	-	6 a 9,5
Cor Aparente	130,7 uC	113,44 uC	86,07 uC	13,2	51,85	15 uC
Turbidez	11,4 uT	10,46 uT	7,7 uT	8,32	32,45	1 uT
Condutividade	46 µS/cm	90,02 µS/cm	102	0	0	-
Sólidos Totais	99,6 mg/L	102,37 mg/L	175 mg/L	0	0	-
Sólidos Suspensos	11,7 mg/L	11,58	9,02 mg/L	1,02	23	-
Sólidos Dissolvidos	87,9 mg/L	91,17 mg/L	168,91 mg/L	0	0	1000 mg/L

*Tc- Tempo de Contato*

Fonte: Autor, 2014.

Para o tratamento de água, o leito filtrante apresentou uma remoção de 32% para a turbidez, 51% para cor aparente e 23% de remoção de sólidos suspensos. A Dureza total ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ), também apresentou uma pequena redução de 7%. A elevação do pH de 6,51 para 6,81, também é de suma importância para o tratamento de água, já que, esse crescimento o deixou mais próximo da neutralidade.

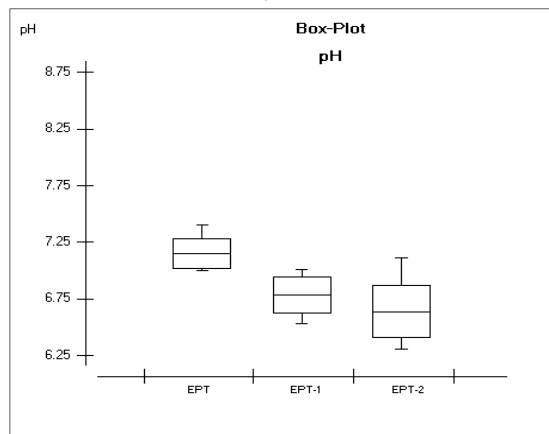
### 6.2.2 Resultado do processo de filtração para o esgoto pós-tratamento

Os resultados das variáveis estudadas no processo de filtração alternativo para esgoto pós-tratamento estão expostos através de gráficos Box-plot, exibindo os valores médios, o menor e o maior escore através do limite inferior e superior de linhas retas verticais. Pode-se verificar também em alguns gráficos, a presença de valores extremos (*outliers*), representados através de pequenos círculos acima ou abaixo das linhas verticais do gráfico.

## pH

Os valores médios de pH analisados no processo de filtração alternativo para esgoto pós-tratamento para os tempos de contato (TC) de 0hs, 24hs e 48hs ficaram compreendidos entre  $7,14 \pm 0,13$  para EPT (esgoto pós-tratamento com TC de 0hs),  $6,78 \pm 0,16$  para EPT-1 (esgoto pós-tratamento com TC de 24hs) e  $6,63 \pm 0,23$  para EPT-2 (esgoto pós-tratamento com TC de 48hs). Apesar de se ter observado uma redução da variável pH com o passar do tempo, a mesma encontra-se em conformidade com a legislação vigente, que estabelece como condição de lançamento de efluente tratado no corpo receptor uma faixa de pH compreendida entre 5 a 9. A Figura 6.9, ilustra os valores médios, máximos, mínimos e os respectivos desvios.

Figura 6.9: Box-plot da variável pH antes e após filtração alternativa.



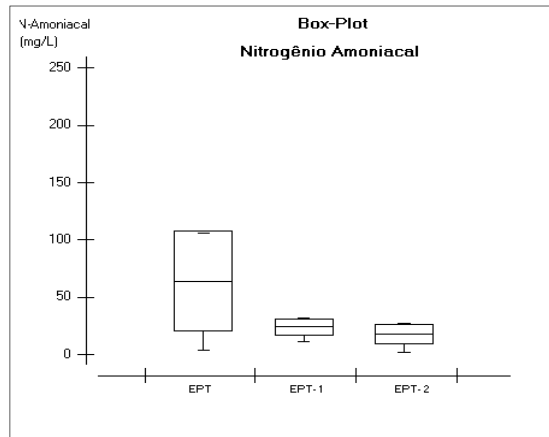
Fonte: Autora, 2014.

## Nitrogênio Amoniacal

De acordo com os resultados da variável nitrogênio amoniacal apresentados na Figura 6.10. Os valores médios ficaram compreendidos entre  $63 \pm 43,58$  mg/L para EPT,  $23,88 \pm 6,9$  mg/L para EPT-1 e  $17,7 \pm 8,51$  mg/L para EPT-2. Obtendo-se uma eficiência de remoção de 62,7% para EPT-1 com tempo de contato de 24hs e 72% para EPT-2 para o tempo de contato de 48hs. A variável em estudo, apesar de ter apresentado uma eficiência de remoção significativa, apenas EPT-2 apresentou valor médio de

17,7 mg/L, enquadrando-se aos padrões preconizados pela legislação vigente que determina como valor máximo permitido de 20mg/L.

Figura 6.10: Box-plot da variável nitrogênio amoniacal antes e após filtração alternativa.

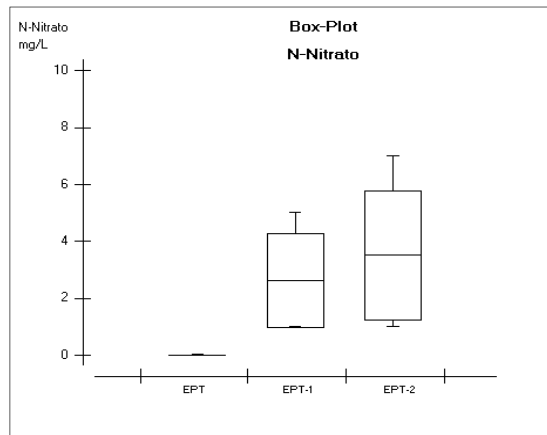


Fonte: Autor, 2014.

## Nitrato

Para a variável nitrato, os valores médios encontrados para o tempo de contato TC de 0hs, 24hs e 48hs foram respectivamente,  $0,41 \pm 0,05$  mg/L para EPT,  $3,13 \pm 1,69$  mg/L para EPT-1 e  $3,9 \pm 2,23$  mg/L para EPT-2. A variável apresentou ineficiência quanto ao sistema de filtração alternativo, visto que houve o aumento da variável ao longo dos tempos de contato. O aumento da concentração de nitrato pode ter sido ocasionado pela oxidação da matéria orgânica presente no esgoto, no qual neste processo a amônia é transformada em nitritos e estes em nitratos, no fenômeno denominado de nitrificação. A Figura 6.11, ilustra os valores médios, máximos, mínimos e os respectivos desvios.

Figura 6.11: Box-plot da variável nitrato antes e após filtração alternativa.



Fonte: Autor, 2014.

## Fósforo Total

Os valores médios de fósforo total avaliados no processo de filtração alternativo para esgoto pós-tratamento com tempos de contato (TC) de 0hs, 24hs e 48hs ficaram compreendidos entre  $20,08 \pm 17,3$  mg/L para EPT,  $27,41 \pm 10,98$  mg/L para EPT-1 e  $30,05 \pm 19,8$  mg/L para EPT-2. A variável apresentou aumento gradativo com o passar do tempo, não obtendo eficiência de remoção.

O aumento da concentração de fósforo no esgoto tratado no filtro alternativo pode ser justificado pela elevada concentração deste elemento no caroço de açaí.

Junior (2010) produziu carvões ativados de caroço de açaí, ouriço de castanha e casca de cupuaçu. Os CA's obtidos apresentaram eficiência na retenção de fenóis e metais pesados específicos. As cinzas do caroço de açaí apresentaram 21,1% de fósforo em sua composição, valor elevado que pode justificar o elevado do teor desta variável no esgoto tratado no filtro alternativo, visto que, era visível nas amostras analisadas a presença de cinzas em meio ao efluente que era coletado do filtro.

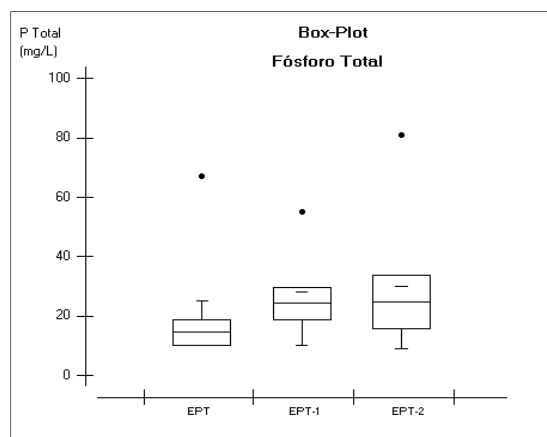
Pereira (2012), também utilizou caroço de açaí como leito filtrante para água e encontrou em sua pesquisa um aumento considerado da

concentração de fósforo após passarem pelo filtro, valores estes de variaram de 0,03 antes da filtração e 0,41 após filtração.

A Figura 6.12, ilustra os valores médios, máximos, mínimos e os respectivos desvios. Observou-se a presença de três *outliers*, são valores muito superiores aos valores médios encontrados em todo o período de coleta.

Os valores extremos (*outliers*) ocorreram na quarta semana de coleta onde o esgoto tratado e coletado na ETE de Vila da Barca apresentava uma concentração de fósforo total de 67,9 mg/L e com o passar do tempo para 24hs o mesmo apresentou uma redução chegando ao valor de 55 mg/L e em seguida para o tempo de 48hs a concentração desta variável aumentou para 81,6 mg/L.

Figura 6.12: Box-plot da variável fósforo total antes e após filtração



Fonte: Autor, 2014.

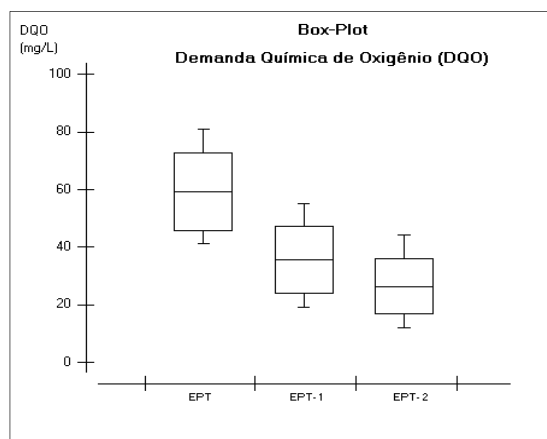
## DQO (Demanda Química de Oxigênio)

A quantidade de matéria orgânica presente no esgoto é medida por meio da quantidade de oxigênio necessária para a sua degradação. As duas variáveis mais utilizadas são a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e a DQO (Demanda Química de Oxigênio), que expressam a quantidade de oxigênio necessária para a degradação biológica e química da matéria orgânica, respectivamente, por isso dependem da concentração

de matéria orgânica e oxigênio dissolvido. Nesta pesquisa somente a variável DQO foi analisada para avaliar a concentração de matéria orgânica presente no esgoto tratado devido à falta de material laboratorial suficiente para realização do teste de DBO.

De acordo com os resultados da variável DQO apresentados na Figura 6.13. Os valores médios ficaram compreendidos entre  $59,2 \pm 13,57$  mg/L para EPT,  $35,4 \pm 11,65$  mg/L para EPT-1 e  $26,2 \pm 9,6$  mg/L para EPT-2. Obtendo-se uma eficiência de remoção de matéria orgânica de 40% para EPT-1 com tempo de contato de 24hs e 55,7% para EPT-2 para o tempo de contato de 48hs.

Figura 6.13: Box-plot da variável demanda química de oxigênio antes e após filtração alternativa.



Fonte: Autor, 2014.

### Série de sólidos

De acordo com os resultados da série de sólidos apresentados nas Figuras 6.14, 6.15, 6.16, 6.17 e 6.18. Os valores médios de sólidos totais (ST) ficaram compreendidos entre  $244,7 \pm 118,2$  mg/L para EPT,  $450 \pm 54,68$  mg/L para EPT-1 e  $415 \pm 121,3$  mg/L para EPT-2, ocorrendo um aumento significativo desta variável para os tempos de 24hs e 48hs.

Com relação aos valores médios de sólidos suspensos (SS) para os tempos de contato de 0hs, 24hs e 48hs, apresentaram valores iguais a  $11,9 \pm 6,8$  mg/L para EPT,  $15,04 \pm 9,9$  mg/L para EPT-1 e  $6,15 \pm 2,81$  mg/L

para EPT-2. Obtendo uma eficiência de remoção de 48,7% somente para o tempo de contato de 48hs conforme mostrado na Tabela 6.8.

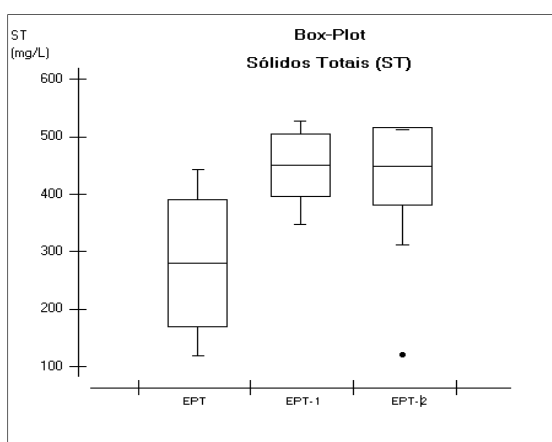
A variável sólidos dissolvidos (SD) apresentou valores médios de  $227,9 \pm 108,7$  mg/L para EPT,  $434,8 \pm 55,7$  mg/L para EPT-1 e  $428,5 \pm 120$  para EPT-2. Verificou-se um aumento gradativo da variante em estudo com o passar do tempo ocasionando ineficiência da filtração alternativa para este parâmetro. A legislação vigente estabelece como valor máximo permitido para sólidos dissolvidos no esgoto tratado de até 500 mg/L.

Para a variável sólidos fixos (SF), os valores médios encontrados foram de  $118 \pm 87,44$  para EPT,  $303 \pm 93,4$  para EPT-1 e  $286,8 \pm 98,02$  para EPT-2, não tendo alcançando também nenhuma eficiência na filtração.

Já a variável sólidos voláteis (SV) apresentou valores médios de  $126,6 \pm 64,83$  para EPT,  $146,9 \pm 51,7$  para EPT-1 e  $127,7 \pm 43,51$  para EPT-2, verificando-se uma oscilação dos resultados com o passar do tempo. A variável em estudo também não apresentou eficiência quanto à filtração.

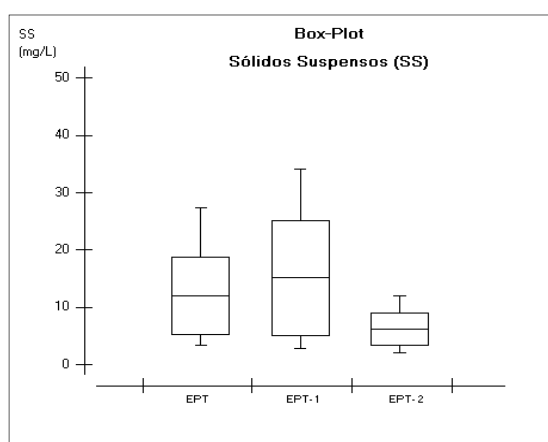
Os resultados elevados ocorreram em praticamente toda série de sólidos com exceção de sólidos suspensos. O aumento de sólidos pode ser justificado pela presença de grande quantidade de resíduos de cinza do caroço de açaí calcinado sendo componente também do esgoto, elemento que influenciou negativamente na filtração.

Figura 6.14: Box-plot da variável sólidos totais antes e após filtração alternativa.



Fonte: Autor, 2014.

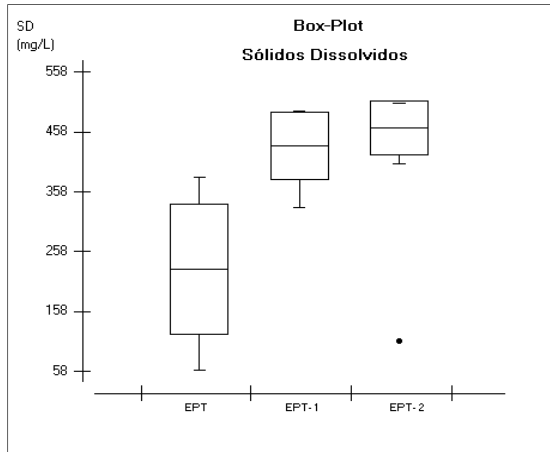
Figura 6.15: Box-plot da variável sólidos suspensos antes e após filtração alternativa.



Fonte: Autor, 2014.

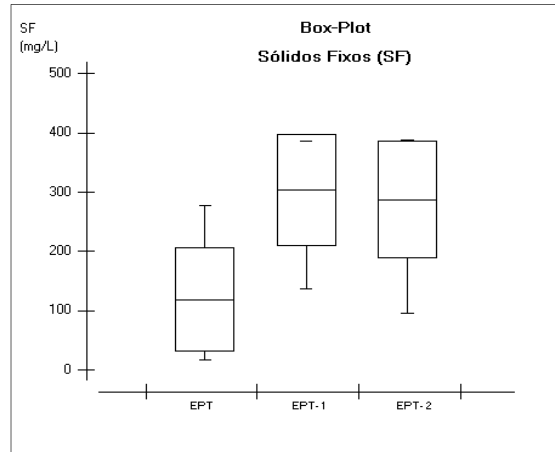


Figura 6.16: Box-plot da variável sólidos dissolvidos antes e após filtração alternativa.



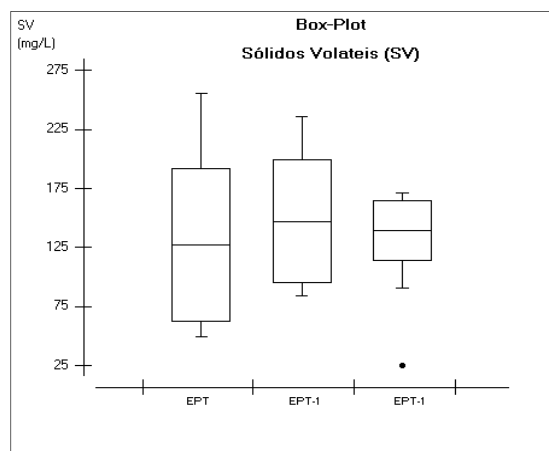
Fonte: Autor, 2014.

Figura 6.17: Box-plot da variável sólidos fixos antes e após filtração alternativa.



Fonte: Autor, 2014.

Figura 6.18: Box-plot da variável sólidos voláteis antes e após filtração alternativa.



Fonte: Autor, 2014.

A Tabela 6.7 mostra os resultados do processo de filtração alternativo para o esgoto tratado da ETE de Vila da Barca com suas respectivas médias e eficiência de remoção de cada variável para os tempos de contato de 24hs e 48hs.

Tabela 6.7: Resultados do processo de filtração para pós-tratamento de esgoto.

Variáveis	Médias Esgoto Tratado	Médias Esgoto Pós-Tratamento (TC 24hs)	Médias Esgoto Pós-Tratamento (TC 48hs)	Eficiência de remoção (%) (TC 24hs)	Eficiência de remoção (%) (TC 48hs)	Condições e padrões de lançamento de efluentes (CONAMA 430/11)
pH	7.14	6.78	6.63	-	-	5 a 9
N <sub>Amoniacal</sub>	63,8 mg/L	23,8 mg/L	17,69 mg/L	62.70	72	20 mg/L
N <sub>Nitrato</sub>	0,41 mg/L	3,13 mg/L	3,9 mg/L	0	0	-
Fósforo Total	20,8 mg/L	27,41 mg/L	30,5 mg/L	0	0	0,05 mg/L
DQO	59,2 mg/L	35,4 mg/L	26,2 mg/L	40	55.7	-
Sólidos Totais	245 mg/L	450 mg/L	415 mg/L	0	0	-
Sólidos Suspensos	12 mg/L	15 mg/L	6,15 mg/L	0	48.7	-
Sólidos Dissolvidos	228 mg/L	435 mg/L	428 mg/L	0	0	500 mg/L
Sólidos Fixos	118 mg/L	303 mg/L	286 mg/L	0	0	-
Sólidos Voláteis	127 mg/L	147 mg/L	127 mg/L	0	0	-

Fonte: Autor, 2014.

De acordo com a Tabela 6.9, o uso do leito filtrante alternativo para o pós-tratamento de esgoto, apresentou uma remoção de quase 56% de DQO, conseqüentemente diminuindo o risco de consumo de oxigênio no corpo receptor, por parte da estabilização da matéria orgânica. Foram observados uma diminuição do N-Amoniacal (NH<sub>3</sub>) e um ligeiro aumento do N-Nitrato (NO<sub>3</sub>), provavelmente a redução do N-Amoniacal nessa unidade deva-se a adsorção dessa substância no leito filtrante, o que favorece de maneira positiva para o lançamento do efluente em um corpo receptor, já que, essa forma de nitrogênio consome altas taxas de oxigênio dissolvidos em um rio, além de enquadrar-se no padrão de lançamento estabelecido pela Resolução 430 – CONAMA. Outro resultado positivo foi uma pequena diminuição nas concentrações de sólidos em suspensão em ambos os filtros, o que indica que o leito filtrante alternativo tem uma boa eficiência na retenção de sólidos.

### 6.2.3 Avaliação dos resultados da filtração alternativa para água bruta e para o esgoto pós-tratamento através da Estatística Analítica.

A estatística analítica possibilitou identificar qual o melhor tempo de contato (24hs e 48hs) a ser utilizado para o filtro contendo somente como leito filtrante o caroço de açaí calcinado. Nesta avaliação foram realizadas inferências estatísticas com:

- 1) Teste de Normalidade;
- 2) Teste de hipóteses, paramétrico e não paramétrico.

#### 1) *Teste de Normalidade - Shapiro Wilk (W).*

O teste foi aplicado para verificar se os valores da amostra são compatíveis com a população que ela representa, ou seja, se possuem uma distribuição Normal. A sua aplicação foi necessária para avaliar previamente qual teste deveria ser aplicado para avaliar as Hipóteses formuladas para o estudo.

No teste foi avaliada a distribuição dos dados amostrais de cada variável, sendo verificado se os dados em pares de escores dos mesmos indivíduos (24hs e 48hs) são paramétricos (possuem distribuição normal) ou não paramétricos (não possuem distribuição normal).

A distribuição dos dados amostrais foi analisada com o nível de significância ( $\alpha$ ) igual a 0,05 para um intervalo de confiança de 95% e número de amostras igual a dez. Onde o valor  $p \geq \alpha$  indica que os dados amostrais da variável analisada possuem uma distribuição paramétrica (distribuição normal). Os resultados do teste podem ser observados na Tabela 6.8 para água e na Tabela 6.9 para esgoto.

Tabela 6.8: Resultado do teste de normalidade nos dados amostrais das variáveis físico-químicas analisadas na água antes e após a filtração alternativa, para os TC de 24hs e 48hs.

Variáveis	Estado da água	Tamanho da amostra	Valor de $p$	Resultado
pH	Tratado 1 *	10	0,0047	$p > \alpha$
	Tratado 2 **	10	0,0082	$p < \alpha$
Turbidez (uT)	Tratado 1	10	0,0097	$p < \alpha$
	Tratado 2	10	0,0386	$p < \alpha$
Cor (uC)	Tratado 1	10	0,5738	$p > \alpha$
	Tratado 2	10	0,1745	$p > \alpha$
Condutividade ( $\mu\text{S/cm}$ )	Tratado 1	10	0,0637	$p > \alpha$
	Tratado 2	10	0,937	$p > \alpha$
Dureza (mg-CaCO <sub>3</sub> /L)	Tratado 1	10	0,1809	$p > \alpha$
	Tratado 2	10	0,8549	$p > \alpha$
Dureza (mg-MgCO <sub>3</sub> /L)	Tratado 1	10	0,0445	$p < \alpha$
	Tratado 2	10	0,6696	$p > \alpha$
ST (mg/L)	Tratado 1	10	0,496	$p > \alpha$
	Tratado 2	10	0,0099	$p < \alpha$
SS (mg/L)	Tratado 1	10	0,0097	$p < \alpha$
	Tratado 2	10	0,0276	$p < \alpha$
SD (mg/L)	Tratado 1	10	0,4567	$p > \alpha$
	Tratado 2	10	0,0263	$p < \alpha$

\*= TC (Tempo de Contato 24hs)

\*\*= TC (Tempo de Contato 48hs)

Fonte: Autor, 2014.

Tabela 6.9: Resultado do teste de normalidade nos dados amostrais das variáveis físico-químicas analisadas no esgoto antes e após a filtração alternativa, para os TC de 24hs e 48hs.

Variáveis	Estado do esgoto	Tamanho da amostra	Valor de $p$	Resultado
pH	Tratado 1 *	10	0,7177	$p > \alpha$
	Tratado 2 **	10	0,6811	$p > \alpha$
N-Amoniacal (mg/L)	Tratado 1	10	0,2416	$p > \alpha$
	Tratado 2	10	0,2188	$p > \alpha$
N-Nitrato (mg/L)	Tratado 1	10	0,3998	$p > \alpha$
	Tratado 2	10	0,8176	$p > \alpha$
Fósforo Total (mg/L)	Tratado 1	10	0,0092	$p < \alpha$
	Tratado 2	10	0,0089	$p < \alpha$
DQO (mg/L)	Tratado 1	10	0,6042	$p > \alpha$
	Tratado 2	10	0,8703	$p > \alpha$
ST (mg/L)	Tratado 1	10	0,3706	$p > \alpha$
	Tratado 2	10	0,0099	$p < \alpha$
SS (mg/L)	Tratado 1	10	0,3764	$p > \alpha$
	Tratado 2	10	0,4822	$p > \alpha$
SD (mg/L)	Tratado 1	10	0,0983	$p > \alpha$
	Tratado 2	10	0,0084	$p < \alpha$
SF (mg/L)	Tratado 1	10	0,0273	$p < \alpha$
	Tratado 2	10	0,1282	$p > \alpha$
SV (mg/L)	Tratado 1	10	0,4377	$p > \alpha$
	Tratado 2	10	0,0517	$p > \alpha$

\*= TC (Tempo de Contato 24hs)

\*\*= TC (Tempo de Contato 48hs)

Fonte: Autor, 2014.

O teste de normalidade foi aplicado somente para identificar se há alguma variável presente na formação do par (24hs e 48hs) com distribuição não-paramétrica (não possuem distribuição normal dos valores médios no universo amostral). O fato de a distribuição ser ou não ser paramétrica implica diretamente na escolha do teste (*t-student* ou *Wilconxon*) a ser aplicado nas hipóteses formuladas neste estudo.

Observando os resultados do teste de normalidade, aplicado nas variáveis físico-químicas analisadas no processo de filtração alternativo para água e esgoto com os TC de 24hs e 48hs, é possível afirmar que:

- As variáveis pH<sub>24hs</sub>, Cor<sub>24hs e 48hs</sub>, Condutividade<sub>24hs e 48hs</sub>, Dureza (mg-CaCO<sub>3</sub>/L)<sub>24hs e 48hs</sub>, Dureza (mg-MgCO<sub>3</sub>/L)<sub>48hs</sub>, ST<sub>24hs</sub>, SD<sub>24hs</sub> para água possuem distribuição normal, pois o valor  $p \geq \alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ). Logo, o teste de hipóteses escolhido para aplicação nesses dados foi o teste *t-student*;

- As variáveis pH<sub>48hs</sub>, Turbidez<sub>24hs e 48hs</sub>, Dureza (mg-MgCO<sub>3</sub>/L)<sub>24hs</sub>, ST<sub>48hs</sub>, SS<sub>24hs e 48hs</sub> e SD<sub>48hs</sub> para água não possuem distribuição normal, pois o valor  $p < \alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ). Logo, o teste de hipóteses escolhido foi o teste *wilconxon*.
- As variáveis pH<sub>24hs e 48hs</sub>, N-Amoniacal<sub>24hs e 48hs</sub>, Nitrato<sub>24hs e 48hs</sub>, DQO<sub>24hs e 48hs</sub>, ST<sub>24hs</sub>, SS<sub>24hs e 48hs</sub>, SD<sub>24hs</sub>, SF<sub>48hs</sub> e SV<sub>24hs e 48hs</sub> para o esgoto possuem distribuição normal, pois o valor  $p \geq \alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ). Logo, o teste de hipóteses aplicado foi o teste *t-student*.
- As variáveis Fósforo Total<sub>24hs e 48hs</sub>, ST<sub>48hs</sub>, SD<sub>48hs</sub>, SF<sub>24hs</sub> para esgoto não possuem distribuição normal, pois o valor  $p < \alpha$  ( $\alpha = 0,05$ ). Logo, o teste de hipóteses escolhido foi o teste *wilconxon*.

## 2) Teste de hipóteses: paramétrico e não-paramétrico.

Os testes foram aplicados em um par de escores dos mesmos indivíduos (24hs e 48hs) para as variáveis físico-químicas representativas da filtração alternativa da água e do esgoto pós-tratamento, que apresentaram distribuição paramétrica e não-paramétrica dos dados amostrais. O teste *t-student* somente pode ser aplicado em dados amostrais com distribuição normal (paramétrica) e foi aplicado com o nível de significância ( $\alpha$ ) igual a 0,05 para um intervalo de confiança de 95% e graus de liberdade igual a 9 (nove), onde  $(n-1) = (10-1) = 9$ . Os pares de dados amostrais das variáveis que apresentaram uma distribuição não-paramétrica tiveram suas hipóteses testadas com o teste *Wilconxon* (*W*) aplicado com o nível de significância ( $\alpha$ ) igual a 0,01 para um intervalo de confiança de 99%. As hipóteses testadas quanto à filtração alternativa para água e esgoto foram as seguintes:

$H_0$  = A média dos dados amostrais das variáveis físico-química representativas na *filtração de água* é igual nos tempos de contato de 24hs e 48hs no filtro alternativo.

$H_1$  = A média dos dados amostrais das variáveis físico-química representativas na *filtração de água* é diferente nos tempos de contato de 24hs e 48hs no filtro alternativo.

$H_0$  = A média dos dados amostrais das variáveis físico-química representativas na *filtração do esgoto pós-tratamento* é igual nos tempos de contato de 24hs e 48hs no filtro alternativo.

$H_1$  = A média dos dados amostrais das variáveis físico-química representativas na *filtração do esgoto pós-tratamento* é diferente nos tempo de contato de 24hs e 48hs no filtro alternativo.

Para rejeitar ou deixar de rejeitar a hipótese nula ( $H_0$ ) foi observado no resultado do teste o valor  $p$ . Se o valor  $p \leq \alpha$  rejeitar  $H_0$ ; se o valor  $p > \alpha$ , deixar de rejeitar  $H_0$ . Os resultados das hipóteses formuladas para as variáveis representativas da filtração alternativa da água e do esgoto foram testadas através dos testes *t-student* e *Wilconxon (W)*, estão apresentados nas Tabelas 6.10 e 6.11.

Os resultados do teste *t-student*, para as variáveis analisadas na filtração alternativa da água estão apresentados na Tabela 6.11 e forneceram informações indicando que há evidência suficiente para garantir a rejeição da afirmativa da hipótese nula ( $H_0$ ) para os pares das variáveis Condutividade<sub>(24hs e 48hs)</sub> e Cor<sub>(24hs e 48hs)</sub>. Neste caso, foi aceita a hipótese alternativa ( $H_1$ ) onde a média desses pares de variáveis é diferente nos referidos tempos de contato. A hipótese nula foi aceita para o par da variável Dureza (mg-CaCO<sub>3</sub>/L)<sub>(24hs e 48hs)</sub> admitindo-se que a média entre o par dessa variável é igual.

Desta forma, é seguro afirmar, a um nível de confiança de 95% e através do valor  $t$  negativo (-5,439), que o valor médio da variável Condutividade foi maior no tempo de contato de 48hs. Enquanto que a variável Cor apresentou através do valor  $t$  positivo (3,003) que houve uma redução do valor médio, principalmente para o tempo de contato de 48hs.

Quanto ao resultado do teste *Wilconxon* foi aceita a hipótese nula ( $H_0$ ) onde não há diferença entre os valores médios das variáveis presentes nos pares pH<sub>24hs e 48hs</sub>, Turbidez<sub>24hs e 48hs</sub>, Dureza (mg-MgCO<sub>3</sub>/L)<sub>24hs e 48hs</sub>, ST<sub>24hs e 48hs</sub> e SS<sub>24hs e 48hs</sub>, ou seja, ao nível de confiança de 99%, não houve variação significativa na concentração média dessas variáveis, para os tempos de contato analisados. A hipótese alternativa ( $H_1$ ), foi aceita somente para SD<sub>24hs e 48hs</sub> onde a média desse par de variáveis é diferente nos referidos tempos de contato.

Então, com base nos resultados dos testes de hipóteses, pode-se afirmar que as variações ocorridas nas variáveis foram as seguintes:

- os valores médios foram maiores no tempo de contato de 48hs para as variáveis Condutividade e sólidos dissolvidos;
- os valores médios foram menores no tempo de contato de 48hs para a variável Cor;
- os valores médios foram iguais entre os tempos de contato de 24hs e 48hs para as variáveis pH, Turbidez, Dureza (mg-CaCO<sub>3</sub>/L), Dureza (mg-MgCO<sub>3</sub>/L), ST e SS.



Tabela 6.10: Resultado do teste de hipóteses, paramétrico e não-paramétrico, aplicado nos pares de variáveis representativas da filtração alternativa na água para os TCs de 24hs e 48hs.

Hipóteses	Nº de pares	Graus de liberdade	t* ou T**	p (bilateral)	Resultado	Teste aplicado
pH 24hs e 48hs	10	-	16	0,441	$p > \alpha$	Wilconxon (W)
Turbidez (uT) 24hs e 48hs	10	-	15	0,202	$p > \alpha$	Wilconxon (W)
Cor (uC) 24hs e 48hs	10	9	3,003	0,014	$p < \alpha$	t-student
Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) 24hs e 48hs	10	9	-5,439	<0,001	$p < \alpha$	t-student
Dureza (mg-CaCO <sub>3</sub> /L) 24hs e 48hs	10	9	0,085	0,933	$p > \alpha$	t-student
Dureza (mg-MgCO <sub>3</sub> /L) 24hs e 48hs	10	-	13	0,139	$p > \alpha$	Wilconxon (W)
ST (mg/L) 24hs e 48hs	10	-	3	0,012	$p > \alpha$	Wilconxon (W)
SS (mg/L) 24hs e 48hs	10	-	16	0,241	$p > \alpha$	Wilconxon (W)
SD (mg/L) 24hs e 48hs	10	-	1	0,006	$p < \alpha$	Wilconxon (W)

Fonte: Autor, 2014

O resultado do teste *t-student* para as variáveis analisadas na filtração alternativa do esgoto pós-tratamento estão apresentados na Tabela 6.12 e forneceu informações indicando que há evidência suficiente para garantir a rejeição da afirmativa da hipótese nula ( $H_0$ ) para os seguintes pares de variáveis: pH<sub>24hs e 48hs</sub>, N-Amoniacal<sub>24hs e 48hs</sub>, DQO<sub>24hs e 48hs</sub> e SS<sub>24hs e 48hs</sub>. Neste caso, foi aceita a hipótese alternativa ( $H_1$ ) onde a média dessas variáveis é diferente nos referidos tempos de contato, pois apresentaram valores médios das variáveis testadas, entre os dois TCs, diferenças significativas.

A hipótese nula foi aceita para o par da variável Nitrato<sub>(24hs e 48hs)</sub> e SV<sub>(24hs e 48hs)</sub>, admitindo-se que as médias entre o par dessas variáveis são iguais.

Entretanto, é seguro afirmar, a um intervalo de confiança de 95% e através do valor *t* positivo, que houve redução mais acentuada nos valores médios das variáveis N-Amoniacal, DQO e SS, após o tempo de contato de

48hs, já havendo redução dos valores médios dessas variáveis para os dois tempos testados.

Tabela 6.11: Resultado do teste de hipóteses, paramétrico e não-paramétrico, aplicado nos pares de variáveis representativas da filtração alternativa do esgoto para os TCs de 24hs e 48hs.

Hipóteses	Nº de pares	Graus de liberdade	t* ou T**	p (bilateral)	Resultado	Teste aplicado
pH 24hs e 48hs	10	9	2,55	0,03	$p < \alpha$	t-student
N-Amoniaco (mg/L) 24hs e 48hs	10	9	4,610	0,001	$p < \alpha$	t-student
N-Nitrato (mg/L) 24hs e 48hs	10	9	-1,401	0,194	$p > \alpha$	t-student
Fósforo Total (mg/L) 24hs e 48hs	10	-	11	0,092	$p > \alpha$	Wilconxon (W)
DQO (mg/L) 24hs e 48hs	10	9	3,276	0,009	$p < \alpha$	t-student
ST (mg/L) 24hs e 48hs	10	-	28	1	$p > \alpha$	Wilconxon (W)
SS (mg/L) 24hs e 48hs	10	9	3,155	0,011	$p < \alpha$	t-student
SD (mg/L) 24hs e 48hs	10	-	14	0,168	$p > \alpha$	Wilconxon (W)
SF (mg/L) 24hs e 48hs	10	-	22	0,575	$p > \alpha$	Wilconxon (W)
SV (mg/L) 24hs e 48hs	10	9	0,759	0,467	$p > \alpha$	t-student

Fonte: Autor, 2014.

Quanto ao resultado do teste *Wilconxon* foi aceita a hipótese nula ( $H_0$ ) onde não há diferença entre os valores médios das variáveis presentes nos pares de variáveis Fósforo Total 24hs e 48hs, ST 24hs e 48hs, SD 24hs e 48hs e SF 24hs e 48hs, foi aceita a hipótese nula, pois não há diferença entre os valores médios presentes no par de variáveis, ou seja, a um intervalo de confiança de 99%, não houve variação significativa na concentração dessas variáveis, nos tempos de contato avaliados.

Portanto, os resultados dos testes de hipóteses aplicados revelam que as os TCs de 24hs e 48hs avaliados, causaram alterações, diminuindo e aumentando as concentrações em algumas variáveis. Sendo que esses resultados fornecem informações importantes quanto ao tempo necessário de permanência da água e do esgoto nos filtros alternativos para que possa

ocorrer uma maior adsorção das variáveis estudadas pelo caroço de açai, somente calcinado.

## 7 CONCLUSÕES

- A partir da caracterização físico-química do caroço de açaí calcinado é possível afirmar que o carvão alternativo produzido apresentou valores médios de cinzas próximos aos valores médios encontrados nos carvões vegetais obtidos a partir de outros produtos residuais. O baixo teor de cinzas encontrado faz com que após a ativação haja um aumento na área superficial do material sendo essencial no processo de adsorção;
- Observou-se uma redução da densidade do caroço de açaí após calcinação, característica que favorece ao fácil manuseio e estocagem do material;
- O monitoramento dos filtros com leito filtrante de caroço de açaí calcinado apresentou bom desempenho, principalmente, no processo de retenção de sólidos suspensos e remoção da matéria orgânica representado pela DQO;
- Para o tratamento de água, o caroço de açaí calcinado deve ser utilizado na composição do leito filtrante, com outros materiais, barateando o processo e aumentando a sua eficiência;
- A avaliação mediante testes de hipóteses, aplicado pra avaliar a equivalência entre os valores médios dos pares de variáveis (24hs e 48hs) representativas dos parâmetros físico-químicos estudados na filtração alternativa com caroço de açaí calcinado, para água e esgoto revelou equivalência entre os pares de: pH, Turbidez, Dureza (mg-CaCO<sub>3</sub>/L), Dureza (mg-MgCO<sub>3</sub>/L), ST e SS (referente a filtração da água); Fósforo Total, ST, SD e SF (referente a filtração do esgoto). Foi possível afirmar que não houve variação considerável nos valores médios dessas variáveis entre os tempos de contato (24hs e 48hs);
- Também, é possível afirmar que o tempo de contato de 48hs provocou reduções mais acentuadas nas concentrações das variáveis

Cor (para água); N-Amoniacal, DQO e SS (para esgoto). Portanto, o tempo de 48hs foi o mais eficiente quanto para a filtração alternativa, visto que, conseguiu promover reduções significativas em algumas variáveis estudadas;

## 8 RECOMENDAÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Sugere-se que o caroço de açaí seja ativado quimicamente transformado o mesmo em um carvão ativado alternativo, visto que nesta pesquisa observou-se que a biomassa estudada tem grande capacidade de adsorção, podendo ter uma maior eficiência se for ativado quimicamente;
- Avaliar o filtro de forma contínua na tentativa de obtenção de curvas de tendências e taxas de filtração.
- Criar diversos filtros com leitos filtrantes de caroços de açaí calcinados de tamanhos variados para observação de qual se consegue maior eficiência de remoção das variáveis físico-químicas para água e para esgoto.

## REFERÊNCIAS

ALMANSA, C.; MOLINA-SÁBIO, M.; RODRIGUEZ-REINOSO, F. **“Adsorption of methane into ZnCl<sub>2</sub>-activated carbon derived discs”**, Microporous and Mesoporous Material. v. 76. p. 185-191. 2004.

AUTA, M.; HAMEED, B. H. **“Preparation of waste tea activated carbon using potassium acetate as an activating agent for adsorption of Acid Blue 25 dye”**, Chemical Engineering Journal. v. 171. p. 502-509. 2011.

AYRES MAUEL. **Elementos de Bioestatística: A seiva do açazeiro**. Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Universidade Federal do Pará. Belém, PA, 588 p., 2012.

AZEVEDO, D. C. S.; ARAUJO, J. C. S.; BASTOS-NETO, M.; TORRES, A. E. B.; JAGUARIBE, E. F.; CALVANCANTE, C. L. **Microporous activated carbon prepared from coconut shells using chemical activation with zinc chloride**. Microporous and Mesoporous Materials, v. 100, n. 4. p. 361-364. 2007.

BANDOS, Z., TERESA, J. **Activated carbon surfaces in environmental remediation**, 7. New York, 2006. The City College of New York, Dept. of Chemistry.

BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa Amazônia Oriental. **Sistema de Produção do Açaí**. Vol. 4 - 2ª Edição Dez./2006.

BRASIL. PORTARIA N° 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância de qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, DF, 14 de dezembro. 2011.

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA N° 430, DE 13 DE MAIO DE 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, DF, 16 de maio de 2011 pág 89.

BARRET, E. P.; JOYNER, L. G.; HALENDA, P. P.; **Characterization of Solids in General and Catalysts in Particular**. American Chemical Society Journal, v.73, p. 373, 1951.

BARROS, A. R. B.; **Remoção de íons metálicos em água utilizando diversos adsorventes**. Dissertação em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 89 p. 2001.

BRUNAUER S., EMMETT P.H. E TELLER, E. **Adsorption of Gases in Multimolecular Layers**. Journal of the American Chemical Society, v. 60, pp. 309-319, 1938.

BOCRIS, J.O.M e REDDY, A.K.N. **Modern Electrochemistry**. Plenum press, New York, v. 1, 1977

BRUM, S. S. *et al.* **“Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café”**, Revista Química Nova. v. 31. p. 1048-1052. 2008.

BRANDÃO, C. C. S.; SILVA, A.S. Remoção de Cianotoxinas por adsorção em Carvão Ativado. In: PÁDUA, V. L. (Coord.) **Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. Cap 10, p. 415-465.

BRONDIZIO, E. S., SAFAR, C. A. M., & SIQUEIRA, A. D. **The urban market of acai fruit (*Euterpe oleracea* Mart.) and rural land use change: Ethnographic insights into the role of price and land tenure constraining agricultural choices in the Amazon estuary**. Urban Ecosystems, 6(1), 67–97, 2002.

CAVALCANTE, J.E.W.D. **Manual de Tratamento de Efluentes Industriais**. São Paulo: Engenho Editora Técnica Ltda. 452p. 2009.

CHAVES, J. A. P. **Adsorção de corantes têxteis sobre quitosana: condições, modelagem e otimização**. Dissertação em Química. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 96 p. 2009.

COUTINHO.B.M.F; GOMES.S.A; TEIXEIRA.G.V, **Principais métodos de caracterização da porosidade de resinas a base de divinilbenzeno**. Química Nova, vol 24, nº 6, 808-818, 2001.

CLAUDINO, A. **Preparação de Carvão Ativado a partir de Turfa e sua Utilização na Remoção de Poluentes**. 2003. 90f. Dissertação (Mestrado).



Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CLARK, H. L. M. **Remoção de fenilalanina por adsorvente produzido a partir da torta prensada de grãos defeituosos de café.** Dissertação em Ciência dos Alimentos. Faculdade de Farmácia, UFMG, Belo Horizonte. 115 p. 2010.

CRUZ, O.F.J. **Produção de Carvão Ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas da região amazônica.** 2010. 73f. Dissertação (Mestrado). Programa de pós-graduação em engenharia mecânica e de materiais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

DABROWSKI, A., PODKOSCIELNY, P., HUBICKI, Z., BARCZAK, M., 2005. **Adsorption of phenolic compounds by activated carbon e a critical review.** *Chemosphere* 58, 1049 e1070.

DE LIMA, Liliane S.; ARAUJO, Marcus D. M.; QUINÁIA, Sueli P.; MIGLIORINE, Douglas W.; GARCIA, Jarem R. **Adsorption modeling of Cr, Cd and Cu on activated carbon of different origins by using fractional factorial design.** *Chemical Engineering Journal*, v.166, p.881–889, 2011.

DEIANA, C.; GRANADOS, D.; VENTUTINI, R.; AMAYA, A; SERGIO, M.; TANCREDI, N. **Activated carbons obtained from rice husk: influence of leaching on textural parameters.** *Ind. Eng. Chem. Res.*, v. 47, p. 4754-4757, 2008.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela di B. **Métodos e técnicas de tratamento de águas.** 2.ed. São Carlos: RiMa, 2005.

DIAZ-TERÁN, J.; NEVSKAIA, D. M.; FIERRO, J. L. G.; LÓPEZ-PEINADO, A. J., JEREZ, A. **Study of chemical activation process of a lignocellulosic material with KOH by XPS and XRD.** *Microporous Mesoporous Mater.*, v. 60, p. 173-181, 2003.

ECKENFELDER, W.W & MUSTERMAN, J.L. **Treatment and pretreatment requirements for industrial wastewater in municipal activated sludge plants.** *Water Science and Technology*. V. 29, N°9, p 79-88. 1994.

EL-HENDAWY, A. A. **Surface and adsorptive properties of carbons prepared from biomass.** *Applied Surface Science*, v. 252, p. 287-295, 2005.  
GARCIA, L.P; ZANETTI-RAMOS, B.G. **Gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde: uma questão de biossegurança.** *Cad. Saúde Pública*, maio/jun. 2004, v. 20, n. 3, p. 744-752.

FERNANDES, F. L. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com  $ZnCl_2$  e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização, modificações químicas e aplicação na adsorção de íon cloreto.** Dissertação em Química. Universidade Federal da Paraíba. 116 p. João Pessoa. 2008.

GANTUSS, C. A. R. **Caracterização física e química de locais de ocorrência do Açazeiro (*euterpe oleracea*, mart) no Estado do Amapá e sua relação com o rendimento e qualidade do fruto.** 2006. 79. f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.

GREGG, S. J.; SING, K. S. W.; **Adsorption, Surface Area and Porosity.** Academic Press 2, p. 40-48, London, 1982.

GOMES, Luciana L. **Adsorção como alternativa para dessulfurização da gasolina brasileira: estudo para remoção do benzotiofeno.** Monografia (Curso de graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010.

GONÇALVES, M. et al. **“Produção de carvão a partir de resíduo de erva-mate para a remoção de contaminantes orgânicos de meio aquoso”**, Revista Ciência Agrotécnica. v. 31. p. 1386-1391. set-out. 2007.

GONZÁLES, J.F., ROMÁN, S., ENCINAR, J.M., MARTINEZ, G., **“Pyrolysis of various biomass residues and char utilization for the production of activated carbons”**, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 85, 134-141, 2009.

GREGG, S. J.; SING, K. S. W.; **Adsorption, Surface Area and Porosity.** Academic Press 2, p. 40-48, London, 1982.

GUO, Y.; YANG S.; YU K.; ZHAO J.; WANG, Z.; XU, H. **The preparation and mechanism studies of rice husk based porous carbon.** Mater. Chem. Phys., v. 74, p. 320-323, 2002.

HAMEED, B.H., **“Evaluation of papaya seeds as a novel non-conventional lowcost adsorbent for removal of methylene blue.”** Journal of Hazardous Materials 162 (2009) 939-944.

HELLER, L. & PÁDUA. V. L. (Org.) - **Abastecimento de água para consumo humano** – Belo Horizonte: editora UFMG, 2010. 859 p.

HU, Z.; GUO, H.; SRINIVASANM. M. P. YAMING, N. **A simple method for developing mesoporosity in activated carbon.** Separation and Purification Technology, v. 31, p. 47-52, 2003.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa Populacional 2012.** Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 15 out. 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, v. 24 Brasil, ISSN 0103-8435, Prod. Extr. veg. e Silv., Rio de Janeiro, v. 24, p.1-45, 2009.

IUPAC: União Internacional de Química Pura e Aplicada. **Reporting Physisorption data for gás/solid systems**, v.54, p.2201-2218, 1982.

JUNIOR, O. F. C. **Produção de Carvão Ativado a partir de Produtos Residuais de Espécies Nativas da Região Amazônica.** 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

KHALILI, N. R. *et al.* **“Production of micro- and mesoporous activated carbon from paper mill sludge. Effect of zinc chloride activation”**, Carbon. v. 38. p. 1905-1915. 2000.

LÁSZLÓ, K.; MARTHI, K.; ROCHAS, C.; EHRBURGER-DOLLE, F.; LIVET, F.; GEISSLER, E. **Morphological investigation of chemically treated poly (ethylene terephthalate)-based activated carbons.** Langmuir, v. 20, p. 1321-1328, 2004.

LETTERMAN, D., 1999, **Water quality and treatment, A handbook of community water supplies**, McGraw-Hill.

LILLO-RÓDENAS, M. A.; CAZORLA-AMORÓS, D.; LINARES-SOLANO, A. **Understanding chemical reactions between carbons and NaOH and KOH. An insight into the chemical activation mechanism.** Carbon, v. 41, p. 267-275, 2003.

LIMA, I.M; MARSHALL, W.E. **Granular activated carbons from broiler manure: physical, chemical and adsorptive properties.** Biosource Technology, v.96, p.699 – 706, 2005.

MACEDO, J.S., COSTA JÚNIOR, N.B., ALMEIDA, L.E.,VIEIRA, E.R.S., CESTARI, A.R., GIMENEZ, I.F. CARREÑO, N.L., BARRETO, L.S.,”**Kinetic and calorimetric study of the adsorption of dyes on mesoporous**

**activated carbon prepared from coconut coir dust.”** Journal of Colloid and Interface Science 298 (2006) 515- 522.

MARCILLA, A; GARCÍA-GARCÍA,S; ASENSIO,M; CONESA, J.A. **Influence of thermal treatment regime on the density and reactivity of activated carbons from almond shells.** Carbon, v. 38,p. 429 – 440, 2000.

MESTRE, A. S. *et al.* **“Activated carbons from sisal waste by chemical activation with K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>: Kinetics of paracetamol and ibuprofen removal from aqueous solution”**, Bioresource Technology. v. 102. p. 8253-8260. 2011.

MEZZARI, Isabella A. **Utilização de carvões adsorventes para o tratamento de efluentes contendo pesticidas.** 2002. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, Florianópolis, 2002.

MOCHIUTTI, S. *et al.* **Geração de Tecnologias para a Produção Sustentável e Processamento de Frutos de Açaí no Estuário Amazônico.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17. 2002, Amapá. **Anais...** Belém: SBF, 2002. p. 1-4.

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

MOHANTY, K.; DASB, D., BISWAS, M. N. **Adsorption of phenol from aqueous solutions using activated carbons prepared from *Tectona grandis* sawdust by ZnCl<sub>2</sub> activation.** Chemical Engineering Journal, v. 115, p. 121–131, 2005a.

MOHAMMADI, S. Z. *et al.* **“Removal of Pb (II) from aqueous solutions using activated carbon from Sea-buckthorn stones by chemical activation”**, Desalination. v. 262. p. 86-93. 2010.

MORENO-PIRAJÁNA,J.C.; GIRALDO,L. **Adsorption of copper from aqueous solution by activated carbons obtained by pyrolysis of cassava peel.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis,v. 87, p.188–193,2010.

MUCCIACITO, J. C. **Conceitos e aplicações do carvão ativado.** Revista Meio Filtrante. Ano V- edição nº22. set-out. 2006.

NAGAISHI, T. Y. R. **Açaí (*Euterpe oleracea* mart): extrativismo, características, energia e renda em uma comunidade na Ilha de Marajó/ Pa.** 2007. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.

NASCIMENTO, R.J.S.; COURI, S.; ANTONIASSI, R.; FREITAS, S.P. **Composição em ácidos graxos do óleo da polpa de açaí extraído com enzimas e com hexano.** Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v.30, n.2, p.498-502, 2008.

NG, C.; LOSSO, J.N.; MARSHALL, W.E.; RAO, R.M. **Physical and chemical properties of selected agricultural byproduct-based activated carbons and their ability to adsorb geosmin.** Bioresource Technology, v.84, p.177-185, 2002.

NUNES, D. L. **Preparação de carvão ativado a partir de torta prensada de *Raphanus sativus* L. E utilização para clarificação de soluções.** Dissertação em Ciência de Alimentos. Faculdade de Farmácia, UFMG, Belo Horizonte. 117 p. 2009.

PADILHA, J. L.; CANTO, S. A. E.; RENDEIRO, G. **Avaliação do Potencial dos Carços de Açaí para Geração de Energia. Biomassa & Energia.** Viçosa, v. 2, n. 3, p. 231-239, 2005.

PEREIRA, Lia Martins. **Estudo da influência do agente alcalinizante na qualidade do lodo higienizado oriundo de sistema de tratamento de esgoto sanitário multifamiliar visando à disposição agrícola.** Belém, 2013. 154 f. : il.

PEREIRA, Elaine; OLIVEIRA, Luiz; VALLONE, Andréa; SAPAG, Karim; PEREIRA, Márcio. **Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de  $FeCl_3$  como agente ativante.** Quim. Nova, Vol. 31, No. 6, 1296-1300, 2008.

PEREIRA, Simone. **Materiais naturais como meio filtrante: uma experiência com o açaí em uma comunidade da amazonia.** Belém, 2012.

PIS, J.J., *et al.*, (1996); **Preparation of active carbons from coal.** Part I. Oxidation of coal (1995), Fuel Processing Technology 47, 119-138.

PORPINO, K. K. P. **Biossorção de Ferro (II) por casca de caranguejo *Ucides cordatus*.** Dissertação em Química. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa. 93 p. 2009.

QUEIROZ, J.A.L.; MELÉM Jr., N.J. **Efeito do tamanho do recipiente sobre o desenvolvimento de mudas de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.)**. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v.23, n.2, p.460-462, 2008.

REIS, B.O.; SILVA, I.T.; SILVA, I.M.O.; ROCHA, B.R.P. **Produção de briquetes energéticos a partir de caroços de açaí**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas-SP.

RIVERA-UTRILLA, J.; BAUTISTA-TOLEDO, I.; FERRO-GARCÍA, M. A.; MORENO-CASTILLA, C. **Bioadsorption of Pd(II), Cd(II), and Cr(VI) on activated carbon from aqueous solutions**. Carbon, v. 41, p. 323-330, 2003.

ROCHA, WELCA D. **Carvão ativado a partir de resíduos agrícolas e suas aplicações na adsorção de íons metálicos**. Dissertação (Programa de pós graduação do departamento de Engenharia Mineral da Escola de Minas) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006.

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

RODRIGUES, L.D.; SILVA, I.T.; ROCHA, B.R.P.; SILVA, I.M.O. **Uso de briquetes compostos para produção de energia no Estado do Pará**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 2002, 4. Campinas-SP.

RODRIGUES-REINOSO, F.; MOLINA-SABIO, M. **Textural and chemical characterization of carbons microporous**. Advances in colloid and interface science, 76-77, 271-294, 1998.

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

ROUQUEROL, F., *et al.*; **Adsorption by Powders and Porous Solids – Principles, Methodology and Applications**. Academic Press, London Boston. 1999.

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

SANCEY, Bertrand; TRUNFIO, Giuseppe; CHARLES, Jérémie; MINARY, Jean François; GAVOILLE, Sophie; BADOT, Pierre-Marie; CRINI, Grégorio.

**Heavy metal removal from industrial effluents by sorption on cross-linked starch: Chemical study and impact on water toxicity.** Journal of Environmental Management, v.92, p.765-772, 2011.

SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA. **Evolução da produção por município 2003 a 2009.** Belém, 2012. Disponível em: <<http://www.sagri.pa.gov.br/?q=node/125>>. Acesso em: 30 nov. 2012.

SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA. **A importância do Açaí no Contexto Econômico, Social e Ambiental do Estado do Pará.** Belém, 2011. Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/camaras.../App\\_Açai.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras.../App_Açai.pdf) acesso em: 20 de novembro de 2012.

SILVA, P. J. D.; ALMEIDA, S. S. **Estrutura ecológica de açais em ecossistemas inundáveis da Amazônia.** In: JARDIM, M. A. G.; MOURÃO, L.; GROSSMANN, M. (Eds.). **Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.):** possibilidades e limites para o desenvolvimento sustentável no estuário amazônico Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2004. p.37-51.

SOUZA, Bianca M. de. **Avaliação de Processos Oxidativos Avançados Acoplados com Carvão Ativado Granulado com Biofilme para Reuso de Efluentes de Refinaria de Petróleo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

SCHETTINO Junior, Miguel Ângelo Schettino. **Ativação Química do Carvão de Casca de Arroz Utilizando NaOH.** 2004. 79f. Dissertação (Mestrado em Física) – Centro de Exatas, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2004.

SCHNEIDER, E. L. **Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado.** Dissertação em Engenharia Química. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo. 93 p. 2008.

TEIXEIRA, L.B. de OLIVEIRA, R.F.; FURLAN Jr.; J.; GERMANO, V.L.C. **Processo de compostagem a partir de lixo orgânico urbano e caroço de açaí.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. 4p. (Circular Técnica, 105)

TINOCO, A. C. **Açaí amazônico: novas perspectivas de negócio.** Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 1 CD-ROM. Trabalho apresentado no Workshop Regional do Açaizeiro: pesquisa, produção e comercialização, Belém, PA, 2005.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. Tradução de Elementary statistics, 10 th. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

VILAR, R. B. C. **Desenvolvimento de sílicas organofuncionalizadas para pré-concentração de cátions metálicos em meio aquoso e etanólico**. 2007. Dissertação (Doutorado em Química) – Curso de Pós-Graduação em Química, Instituto de Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

XAVIER, R.N; TRAGHETTA, D.G; OLIVEIRA, C.M.R. **Avaliação da eficiência de um reator de carvão ativado impregnado com prata no tratamento de águas residuárias geradas em laboratórios de análises clínicas**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, nº15, Março/2010.

WANG,Z-M., *et al.*,(2002); **Structural and surface property changes of macadamia nutshell char upon activation and high temperature treatment**, Carbon Vol.40, p.1231-1239.

YAGMUR, Emine; OZMAK, Meryem; AKTAS, Zeki. **A novel method for production of activated carbon from waste tea by chemical activation with microwave energy**. Fuel Processing technology, v.87, p.3278–3285, 2008.