



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E RECURSOS  
AQUÁTICOS TROPICAIS - PPGAqRAT**

**LUCIANE MARÇAL OLIVEIRA ROCHA**

**Eficiência do carvão ativado do caroço do açaí (*Euterpe oleracea*) como mídia filtrante em Sistema de Recirculação para Aquicultura (SRA).**

**BELÉM  
2020**

LUCIANE MARÇAL OLIVEIRA ROCHA

**Eficiência do carvão ativado do caroço do açaí (*Euterpe oleracea*) como mídia filtrante em Sistema de Recirculação para Aquicultura (SRA)**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais da Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências do Curso de Mestrado em Aquicultura e Recursos Aquáticos tropicais.

Área de concentração: Aquicultura e recursos aquáticos tropicais.

Professor orientador: Dra. Maria de Lourdes Souza Santos.

Professor Co-orientador: Dr. Breno Gustavo Bezerra Costa.

**BELÉM**  
**2020**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia  
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

R672e Rocha, Luciane Marçal Oliveira  
EFICIÊNCIA DO CARVÃO ATIVADO DO CAROÇO DO AÇAÍ (*Euterpe oleracea*) COMO MÍDIA  
FILTRANTE EM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO PARA AQUICULTURA (SRA). / Luciane Marçal  
Oliveira Rocha. - 2019.  
77 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Aquicultura e Recursos Aquáticos  
Tropicais (PPGARAT), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia,  
Belém, 2019.

Orientador: Profa. Dra. Maria de Lourdes Souza Santos  
Coorientador: Prof. Dr. Breno Gustavo Bezerra Costa.

---

1. Aquicultura. 2. qualidade da água. 3. filtragem biológica. I. Santos, Maria de Lourdes Souza,  
*orient.* II. Título

CDD 628.162

**LUCIANE MARÇAL OLIVEIRA ROCHA**


**EFICIÊNCIA DO CARVÃO ATIVADO DO CAROÇO DO AÇAÍ (*EUTERPE OLERACEA*)  
COMO MÍDIA FILTRANTE EM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO PARA AQUICULTURA  
(SRA)**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, para obtenção de título de mestre: Área de concentração Aquicultura.

27/02/2020

**Data de aprovação**

**Banca examinadora:**



Orientador

Dra. Maria de Lourdes Souza Santos  
Universidade Federal Rural da Amazônia- UFRA



Membro 1

Dr. Maurício Willians de Lima  
Universidade Federal Rural da Amazônia- UFRA



Membro 2

Dr. Fábio Carneiro Sterzelecki  
Universidade Federal Rural da Amazônia- UFRA

Membro 3

Dr. Nuno Filipe Alves Correia de Melo  
Universidade Federal Rural da Amazônia- UFRA

Aos meus pais *Marlucy Marçal* e *Ezequiel Oliveira* e ao meu esposo *Luan Rocha*,  
dedico.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela sua infinita graça e misericórdia, pelo seu amparo nos momentos mais difíceis, se não fosse isso eu não teria vencido e chegado até aqui.

Ao meu esposo *Luan Rocha*, por mais uma vez ter me acompanhado em todos os momentos para concretização desse trabalho, pela paciência, amor e dedicação.

Aos meus queridos pais *Marlucy Marçal* e *Ezequiel Oliveira* e aos meus irmãos de sangue e alma *Welliane*, *Paula*, *Carlos Daniel*, *Luan Jorge* e demais familiares que são a minha verdadeira motivação para nunca desistir dos meus sonhos e objetivos.

Aos meus orientadores, professora *Lourdes Santos* e professor *Breno Costa* pela paciência e aos conhecimentos repassados, os mesmos foram de extrema importância para concluir essa etapa.

A *Universidade Federal Rural da Amazônia* e ao *Programa de Pós graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais* e ao *Instituto Sócio Ambiental e Recursos Hídricos* pela oportunidade e apoio na pesquisa.

A minha equipe do Laboratório de Aquicultura Tropical: *Mayara*; *Leonilton*, *Cássia*; *Michel*; *Mauro*; *Roberta*; *Sávio*; *Edinaldo* e *Tácio*, pelo companheirismo e apoio nas maiores missões que enfrentamos durante a execução desse trabalho.

A minha equipe do Laboratório de Química Ambiental: *Adriano*; *Andrew*; *Felipe*; *Matheus*; *Gustavo*; *José Otávio*; *Tatiane*; *Andria*; *Thaís* e *Pedro* pela incansável ajuda durante as coletas e análises de água.

A *Capes*, pelo auxílio financeiro essencial para conclusão do curso de mestrado.

A empresa *Amazon polpas*, em nome de Carlos Nascimento pela doação do carvão ativado para realização da pesquisa.

A professora *Elaine Guerreiro* pela disponibilidade em realizar a análise de Microscopia eletrônica de varredura.

Por fim, a todos que estiveram junto comigo durante os momentos mais difíceis, que participaram direta ou indiretamente, que contribuíram com palavras de ânimo e orações o meu muito obrigada!

“Em tudo somos atribulados, mas não angustiados; perplexos, mas não desanimados. Perseguidos, mas não desamparados; abatidos, mas não destruídos...”

**2 Coríntios 4:8,9**

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de diferentes proporções do carvão ativado do caroço de açaí (CACA) nos SRA e sua influencia na qualidade da água como também no desempenho zootécnico do tambaqui (*Colossoma macropomum*). O experimento ocorreu de forma inteiramente casualizada, com quatro tratamentos e três repetições de acordo com os seguintes tratamentos: T1: 0% do CACA; T2: 25% CACA; T3: 50% CACA; T4: 75% CACA. O CACA utilizado foi caracterizado físico-quimicamente por meio do teor de umidade, teor de cinzas, porosidade, massa específica aparente e microscopia eletrônica de varredura (MEV) para análise estrutural. O experimento teve duração 60 dias que foram utilizados 1.200 juvenis de tambaqui divididos a uma densidade de 100 ind./m<sup>3</sup> com peso médio inicial de 3,35 ± 0,60g. As coletas de água foram feitas no período da manhã em dois pontos: após a passagem pelo tanque de cultivo e depois da passagem pelo filtro. Para avaliar a eficiência do filtro e a qualidade da água no sistema de cultivo foram monitorados a Temperatura (°C), pH, oxigênio dissolvido (mg/L), condutividade elétrica (µS/cm), turbidez (FNU), sólidos dissolvidos (mg/L), Nitrogênio Amoniacal Total- NAT (mg/L), nitrito (mg/L), nitrato (mg/L), fósforo total (mg/L), alcalinidade (CaCO<sub>3</sub>mg/L), sólidos totais suspensos (mg/L) e a cor aparente (UC). Também foi avaliado o peso médio final, ganho de peso, ganho de biomassa, conversão alimentar, consumo médio de ração e sobrevivência como índices de desempenho zootécnico dos peixes cultivados. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk ( $\alpha= 0,05$ ) à análise de variância (ANOVA) ( $\alpha= 0,05$ ) e Kruskal Wallis ( $\alpha= 0,05$ ) seguidos do teste de Tukey ( $\alpha= 0,05$ ) para verificar a diferença entre os tratamentos. Os dados de desempenho zootécnico não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. A maioria parâmetros de qualidade da água avaliados no tanque de cultivo dos peixes estiveram dentro do recomendado para a espécie. Os filtros compostos por CACA, foram mais eficientes na remoção de turbidez, no entanto para NAT e NO<sub>2</sub> essa eficiência foi maior nos tratamentos com maiores porcentagens. Constatou-se uma maior eficiência no processo de nitrificação para esses tratamentos. Sendo assim, a mídia alternativa mostra-se como uma opção para ser utilizada em SRA.

**Palavras-chave:** Qualidade da água; Filtragem biológica; Aquicultura



## ABSTRACT

The present study aimed to evaluate the efficiency of different proportions of activated charcoal from açai seed (ACAS) in WRS and its influence on water quality, as well as on with zootechnical performance of tambaqui (*Colossoma macropomum*). The experiment occurred in a completely randomized way, with four treatments and three repetitions according to the following treatments: T1: 0% of ACAS; T2: 50% ACAS; T3: 75% ACAS; T4: Biological filter only (Control group). The ACAS used was characterized physically-chemically through moisture content, ash content, porosity, apparent specific mass and scanning electron microscopy (SEM) for structural analysis. The experiment lasted 60 days, where 1,200 tambaqui juveniles were used, divided at a density of 100 ind./m<sup>3</sup> with an average starting weight of  $3.35 \pm 0.60$ g. Water collections were made in the morning at two points: after passing through the cultivation tank and after passing through the filter. To evaluate the efficiency of the filter and the quality of the water in the culture system, the following parameters were monitored: Temperature (° C); pH; dissolved oxygen (mg / L); electrical conductivity ( $\mu$ S / cm); turbidity (FNU); dissolved solids (mg / L); Total Ammoniacal Nitrogen (mg / L), nitrite (mg / L); nitrate (mg / L); total phosphorus (mg / L); alkalinity (CaCO<sub>3</sub>mg / L); total suspended solids (mg / L) and apparent color (UC). The final average weight, weight gain, biomass gain, feed conversion, average feed consumption and survival were also evaluated as zootechnical performance indexes of the cultivated fish. The data were submitted to the Shapiro-Wilk normality tests ( $\alpha = 0.05$ ); to the analysis of variance (ANOVA) ( $\alpha = 0.05$ ) and Kruskal Wallis ( $\alpha = 0.05$ ) followed by the Tukey test ( $\alpha = 0.05$ ) to verify the difference between treatments. Animal performance data showed no significant differences between treatments. Most parameters of water quality evaluated in the fish culture tank were within the recommended for the species. The filters composed by ACAS, were more efficient in removing turbidity, however for TAN and NO<sub>2</sub> this efficiency was greater in treatments with higher percentages. It was found a greater efficiency in the nitrification process for these treatments. Therefore, the alternative media is an option to be used in WRS.

**Keywords:** Water quality; Biological Filtration; Aquaculture

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

<b>Figura 1-</b> Esquematização de um sistema de Recirculação de Água (SRA) destacando seus componentes básicos. ....	20
<b>Figura 2-</b> Formatos ideais de tanques para recirculação: A) Circular; B) Octogonal. ....	23
<b>Figura 3-</b> Materiais que compõem os tanques de cultivo: A) Concreto; B) Fibra; C) Geomembrana. ....	23
<b>Figura 4-</b> Tipos de Filtros Mecânicos. A) Tambor; B) Disco. ....	24
<b>Figura 5-</b> Filtro Biológico: Caixa de polietileno preenchida com substrato (areia grossa). ....	25
<b>Figura 6-</b> Tipos de Substrato para filtro biológico: A) Areia Grossa; B) Cascalho; C) Brita; D) Esfera Plástica; E) Flocos de Isopor. ....	25
<b>Figura 7-</b> Sistemas de aeração/oxigenação: A) Soprador; B) Compressor; C) Aerador tipo pá; D) Aerador Chafariz. ....	27
<b>Figura 8-</b> Fotomicrografia do carvão ativado de açaí com magnificação de 600X(A) e 1000X(B). ....	40
<b>Figura 9-</b> Caroço de açaí após o processo de beneficiamento. ....	43
<b>Figura 10-</b> Descarte inadequado do caroço de açaí nas ruas. ....	44
<b>Figura 11-</b> Tambaqui jovem. ....	45

### CAPÍTULO II

<b>Figura 1-</b> Componentes das unidades experimentais: a) Sistema de recirculação controle; b) Sistema de recirculação com adição do filtro de carvão ativado. ....	54
<b>Figura 2-</b> Mídias filtrantes: A) Areia; B) Argila expandida; C) Carvão ativado do caroço do açaí – CACA. ....	58
<b>Figura 3-</b> Exemplar de juvenil de tambaqui utilizado no experimento. ....	59
<b>Figura 4-</b> Pontos de coleta de água nas UE: A) Tratamento controle; B) Tratamento com as diferentes porcentagens do CACA. ....	61
<b>Figura 5-</b> Foto micrografia eletrônica do carvão ativado do caroço do açaí: A) Estrutura externa; B) Estrutura interna. ....	65
<b>Figura 6-</b> Regressão linear dos índices de Nitrogênio Amoniacal Total (NAT), Nitrito (NO <sub>2</sub> ) e Nitrato (NO <sub>3</sub> ) em função das porcentagens de carvão ativado. ....	74

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

<b>Tabela 1-</b> Área específica de substratos utilizados em biofiltros. ....	27
<b>Tabela 2-</b> Valores nutricionais das rações utilizadas no experimento. ....	60

### CAPÍTULO II

<b>Tabela 1-</b> Caracterização físico-química do CACA. ....	63
<b>Tabela 2-</b> Valores (média $\pm$ desvio padrão) dos indicadores de desempenho zootécnico nos diferentes tratamentos. ....	64
<b>Tabela 3-</b> Parâmetros físico-químicos avaliados entre tratamentos no Tanque de cultivo (Ponto 1).....	66
<b>Tabela 4-</b> Mediana dos parâmetros físico-químicos avaliados no Tanque e Filtro nos diferentes tratamentos.....	69
<b>Tabela 5-</b> Parâmetros físico-químicos avaliados na saída do Filtro (P2) entre os tratamentos.....	71

## SUMÁRIO

CAPÍTULO I- CONTEXTUALIZAÇÃO .....	14
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2. OBEJTIVOS .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Objetivo geral .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>17</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 DESCRIÇÃO, PRINCÍPIOS E IMPORTÂNCIA DOS SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO PARA A ATIVIDADE AQUÍCOLA: UMA REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>18</b>
3.1.1 Introdução.....	18
3.1.2 Desenvolvimento.....	19
3.1.2.1 <i>Sistemas de Recirculação de Água em Aquicultura (SRA)</i> .....	19
3.1.2.2 <i>Componentes do Sistema de Recirculação</i> .....	21
3.1.2.2.1 <i>Ambiente de cultivo</i> .....	22
3.1.2.2.2 <i>Filtragem Física/ Mecânica</i> .....	23
3.1.2.2.3 <i>Filtro Biológico</i> .....	24
3.1.2.2.4 <i>Sistema de aeração/oxigenação</i> .....	27
3.1.2.3 Fluxo de água .....	28
<b>3.2 Carvão ativado (CA) .....</b>	<b>37</b>
3.2.1 Características do carvão ativado .....	37
3.2.1.1 <i>Porosidade</i> .....	37
3.2.1.2 <i>Adsorção</i> .....	38
3.2.1.3 <i>Propriedades físicas</i> .....	39
3.2.1.4 <i>Propriedades químicas</i> .....	40
3.2.2 Produção do carvão ativado .....	41
3.2.3 Utilização do carvão ativado para o tratamento de água.....	42
<b>3.3 Carvão do açai .....</b>	<b>43</b>
3.3.1 Resíduos de açai .....	44
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>47</b>
CAPÍTULO II- SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO AQUÍCOLA UTILIZANDO O CARVÃO ATIVADO DO CAROÇO DO AÇAÍ ( <i>Euterpe oleracea</i> ) COMO MÍDIA FILTRANTE NA RECRIA DO TAMBAQUI ( <i>Colossoma macropomum</i> ).....	50
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>52</b>

<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	53
<b>2.1</b>	<b>Aspecto Ético</b> .....	54
<b>2.2</b>	<b>Local do estudo</b> .....	53
<b>2.3</b>	<b>Unidades Experimentais: Caracterização e funcionamento</b> .....	54
<b>2.4</b>	<b>Delineamento experimental</b> .....	54
2.4.1	Aquisição e caracterização física e química do carvão ativado do caroço do açaí.	54
2.4.1.1	<i>Teor de umidade</i> .....	56
2.4.1.2	<i>Teor de cinza</i> .....	56
2.4.1.3	<i>Teste de porosidade do leito filtrante</i> .....	56
2.4.1.4	<i>Massa Específica</i> .....	57
2.4.1.5	<i>Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)</i> .....	57
2.4.2	Dimensionamento e composição dos filtros.....	58
2.4.3	Tratamentos .....	58
2.4.4	Manejo do sistema.....	59
2.4.4.1	<i>Maturação do filtro biológico</i> .....	59
2.4.4.2	<i>Manejo alimentar</i> .....	60
<b>2.5</b>	<b>Mensuração de Parâmetros</b> .....	60
2.5.1	Biometria .....	60
2.5.2	Coleta e análise dos parâmetros físico-químicos da água .....	61
2.5.3	Indicadores de desempenho zootécnico .....	62
<b>2.6</b>	<b>Análise de dados</b> .....	63
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	64
<b>3.1</b>	<b>Desempenho Zootécnico</b> .....	65
<b>3.2</b>	<b>Qualidade da água</b> .....	66
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	74
	REFERENCIAS .....	74

## **CAPÍTULO I- CONTEXTUALIZAÇÃO**

## 1. INTRODUÇÃO

A aquicultura é uma atividade que vem apresentando crescimento mundial desde a década de 80 onde segundo a FAO (2018), no ano de 2016, o total da produção de pescado no mundo correspondeu a 170,9 milhões de toneladas, sendo que 90,9 milhões de toneladas tiveram origem na pesca, enquanto 73,8 milhões de toneladas tiveram origem na aquicultura. A aquicultura segue crescendo mais rápido que outros principais setores de produção de alimentos, já que ela vem mostrando elevadas taxas de crescimento anual desde as décadas de 1980 e 1990 (11,3% e 10,0%, excluindo as plantas aquáticas) (FAO, 2018).

Contudo, o aumento desordenado da aquicultura traz consigo o aumento nos impactos ambientais. Os efluentes de viveiros com água de baixa qualidade, em função do elevado aporte de nutrientes, podem gerar redução nos níveis de oxigênio dissolvido, aumento da matéria orgânica e sólidos em suspensão. O descarte desses efluentes não tratados prejudica de maneira direta o ecossistema aquático receptor, causando poluição nos cursos de águas naturais, reduzindo a qualidade da água destinada a múltiplos usos (SILAPAJARN e BOYD, 2005; TOLEDO et al., 2003).

Segundo Crepaldi et al. (2006), para que seja possível conciliar o aumento da produção com um cultivo sustentável é necessário que se faça uso de tecnologias de produção. Na atividade aquícola, sistemas de recirculação destacam-se pela demanda tecnológica, atendendo a tal quesito da sustentabilidade da atividade. Menor demanda hídrica por biomassa produzida, uso racional do recurso hídrico, baixa demanda hídrica e adequada liberação de efluentes, e sistemas biosseguros, são características deste sistema de produção.

Através de sistemas de cultivo com uso de recirculação de água é possível produzir organismos aquáticos com liberação mínima de efluentes e utilizando-se apenas a reposição da quantidade de água que se perde por evaporação, que corresponde a aproximadamente 5% do volume total por dia CREPALDI et al. (2006).

Os sistemas de recirculação são constituídos geralmente por tanques para cultivo, sistemas de bombeamento e uma unidade de tratamento de água, podendo dispor de estruturas para captação de água e armazenamento (KUBITZA, 2006).

Dentre as vantagens deste tipo de sistema estão: requerimento de reduzido espaço e água; alto nível de controle ambiental, que permite cultivos anuais com elevados índices de crescimento; e possibilidade de controle de efluentes e de localização dos cultivos próximos aos grandes centros de comercialização. Como principais desvantagens podem-se citar:

elevado custo de instalação e operação e complexidade do funcionamento dos sistemas de filtragem (KUBITZA, 2006; DE AZEVEDO et al., 2014; CARNEIRO et al, 2015).

No que se refere à qualidade de água do cultivo, o sucesso deste tipo de empreendimento depende, dentre outros fatores, de um eficiente sistema que possibilite a remoção/transformação de metabólitos e/ou substâncias que ocasionem a degradação do ambiente aquático, promovendo aos peixes cultivados um ambiente com níveis satisfatórios ao seu desempenho (DE AZEVEDO et al., 2014). Para isso é válido ir em busca de estratégias eficientes e econômicas para o tratamento da água e na adoção de práticas adequadas de condução do cultivo (KUBITZA, 2006).

Sendo assim, o estudo em questão visa avaliar eficiência de um sistema de tratamento de efluentes aquícolas, com distintos percentuais de carvão ativado de caroço de açaí, para o cultivo de tambaqui em sistema de recirculação.



## **2. OBEJTIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a eficiência do carvão ativado do caroço do açaí, no tratamento de efluentes do cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) com distintos percentuais de carvão ativado do caroço de açaí (*Euterpe ollerace*) em Sistemas de Recirculação para Aquicultura (SRA).

### **2.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar as propriedades físicas (densidade aparente, porosidade e análise estrutural) e químicas (Teor de cinzas e umidade) do Carvão Ativado do Caroço do Açaí (CACA) utilizado no experimento.
- Verificar a influência da qualidade da água no desempenho zootécnico de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) durante a fase de recria.
- Avaliar a eficiência das diferentes porcentagens,do CA do caroço do açaí no tratamento da água em SRA.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 DESCRIÇÃO, PRINCÍPIOS E IMPORTÂNCIA DOS SISTEMAS DE RECIRCULAÇÃO PARA A ATIVIDADE AQUÍCOLA: UMA REVISÃO DE LITERATURA\*.**

##### **RESUMO**

O intenso desenvolvimento da aquicultura tem gerado um aumento nos impactos ambientais. Para que seja possível conciliar o aumento da produção com a sustentabilidade ambiental se faz necessário o uso de tecnologias de produção ambientalmente corretas e dentre essas se encontra o Sistema de Recirculação de Água (SRA). Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo fazer um levantamento bibliográfico a respeito das informações atualmente disponíveis na literatura sobre sistemas recirculação aquícolas, incluindo os aspectos operacionais, de manejo como também a sua utilização no Brasil e no mundo. O SRA, como o próprio nome diz, consiste de uma tecnologia na qual a água que sai dos tanques de cultivo é direcionada por bombeamento para tratamento, mecânico e biológico, retornando em seguida aos tanques de cultivo. As estruturas básicas que compõem o sistema de recirculação são: tanques de cultivo; filtros mecânicos; filtros biológicos; decantadores; aeradores, difusores ou injetores de oxigênio; bombas e tubulações que servem para retornar a água para os tanques de cultivo. Sendo assim, apesar do seu alto custo de instalação, os sistemas de recirculação aquícolas tornam-se uma alternativa de aquicultura sustentável, diminuindo os impactos ambientais, melhorando o aproveitamento da água, além de promover um maior controle sanitário na produção.

**Palavras-chave:** sustentabilidade; água; desenvolvimento.

##### **DESCRIPTION, PRINCIPLES AND IMPORTANCE OF RECIRCULATION SYSTEMS FOR AQUACULTURAL ACTIVITY: A REVIEW OF THE LITERATURE.**

##### **ABSTRACT**

The intense development of aquaculture has generated an increase in environmental impacts. In order to be able to reconcile the increase in production with environmental sustainability, it is necessary to use environmentally friendly production technologies and among these is the Water Recirculation System (WRS). Therefore, the present work aims to make a bibliographic survey about the information available in the literature about aquaculture recirculation systems, including operational, management aspects as well as their use in Brazil and in the world. The WRS, as the name says, consists in a technology which the water that comes out of the cultivation tanks is directed by pumping for a treatment, mechanical and biological, and then it returns to the cultivation tanks. The basic structures that make up the recirculation system are: cultivation tanks; mechanical filters; biological filters; decanters; aerators, diffusers or injectors of oxygen; pumps and pipes that serve to return the water to the cultivation tanks. Thus, despite their high cost of installation, aquaculture recirculation

systems become an alternative to sustainable aquaculture, reducing environmental impacts, improving the use of water, in addition to promoting greater sanitary control in production.

**Keywords:** sustainability; water; development.

### 3.1.1 Introdução

A aquicultura é uma atividade dependente dos ecossistemas nos quais está inserida. O seu intenso desenvolvimento tem sido acompanhado de um aumento nos impactos ambientais gerados por esta atividade, principalmente tratando-se da descarga de efluentes de baixa qualidade nos corpos hídricos naturais (TACON; FOSTER, 2003). Contudo, é praticamente impossível produzir alimentos sem provocar alterações ambientais, no entanto, pode-se buscar meios de reduzir tais impactos.

Um dos métodos mais promissores para a redução destes impactos ambientais é a utilização de sistemas de recirculação de água. Os sistemas de recirculação em aquicultura proporcionam reduções no uso de água e área física, melhorando a gestão dos resíduos, tornando a produção intensiva de peixes compatível com a sustentabilidade ambiental (MARTINS et al., 2011).

Foi a partir da década de 80 que estudos visando ao uso de sistemas de recirculação se intensificaram no Japão, nos Estados Unidos, em Israel e em diversos países europeus, e, diante dos resultados positivos, passaram a ser adotados pelos grandes empreendimentos em outros países, assim como no Brasil, sendo inicialmente instalados no nosso país em algumas fazendas que trabalhavam com peixes ornamentais, com laboratórios de reprodução de tilápia e com processos de produção de larvas de camarão (KUBITZA, 2006).

Atualmente os sistemas de recirculação têm se apresentado como peça chave para o desenvolvimento de uma aquicultura mais sustentável, pois variáveis físico-químicas da água como temperatura, pH, oxigênio dissolvido, alcalinidade, entre outras, podem se manter mais estáveis ao longo do período de produção nesses sistemas. Além desses fatores, outro a ser considerado é a biossegurança, uma vez que espécies exóticas são utilizadas na aquicultura e a possibilidade de fugas dessas espécies para o ambiente podem impactar populações selvagens quer seja por cruzamentos intraespecíficos ou por competição de recursos (TAL et al. 2009)

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo fazer um levantamento bibliográfico a respeito das informações atualmente disponíveis na literatura sobre este tema, incluindo os aspectos operacionais, de manejo como também a sua utilização no Brasil e no mundo.

### 3.1.2 Desenvolvimento

#### 3.1.2.1 Sistemas de Recirculação de Água em Aquicultura (SRA)

A atividade aquícola, assim como as indústrias, também produz resíduos que afetam negativamente o meio ambiente. Todavia, muitos desses efeitos já podem ser reduzidos através da utilização de tecnologias e estratégias no manejo que proporcionam além do desenvolvimento sustentável do cultivo, a maximização da produção (CORSO, 2010).

Segundo Crepaldi et al. (2006), para que seja possível conciliar o aumento da produção com um cultivo sustentável é necessário que se faça uso de tecnologias de produção ambientalmente corretas, entre estas, encontra-se Sistema de Recirculação de Água (SRA). Através de sistemas de cultivo com uso de recirculação de água é possível produzir organismos aquáticos com liberação mínima de efluentes e utilizando-se apenas a reposição da quantidade de água que se perde por evaporação, que corresponde a aproximadamente 5% do volume total por dia Crepaldi et al. (2006).

De acordo com Rossi (2014), sistemas que trabalham recirculação de água, como o próprio nome diz, consistem da reutilização da água que, ao sair dos tanques de produção, segue para o tratamento, por meio de decantadores e filtros mecânicos-biológicos no qual ocorre a retenção de materiais sólidos (fezes e resto de ração) e o metabolismo dos compostos nitrogenados (amônia e nitrito), evitando que atinjam níveis tóxicos biológicos. Após esse tratamento a água retorna ao sistema por bombeamento (Figura 1).

**Figura 1-** Esquematização de um sistema de Recirculação de Água (SRA) destacando seus componentes básicos.



**Fonte:** panoramadaaquicultura.com.br

Pode-se dizer que existem, basicamente, dois tipos de sistemas de recirculação: a completa e a verde. O sistema de recirculação de água completo é muito comum na Europa, onde as pisciculturas intensivas são instaladas em galpões fechados, normalmente localizadas

próximos aos centros consumidores, e com elevada produtividade. Nessas utilizam-se biofiltros compactos que demandam pequenas áreas, cujo tratamento reintroduz a água ao sistema praticamente pura (CREPALDI et al, 2006). Já na recirculação verde, também chamada de sistema Deckel, o tratamento biológico da água ocorre em lagoas de tratamento a céu aberto, necessitando maiores áreas.

Neste sistema ocorre uma grande proliferação de microorganismos, deixando a água com coloração verde onde, esse plâncton pode ser utilizado como fonte de alimento vivo para os peixes minimizando custos na produção (CREPALDI et al, 2006). Além disso, esses microorganismos realizam a decomposição da matéria orgânica, enquanto que as bactérias nitrificadoras, as algas (fitoplâncton) e plantas aquáticas, tem a função de remover a amônia e o excesso de nutrientes da água que será retornada aos tanques de cultivo (KUBITZA, 2006).

De forma geral, o tamanho dos sistemas de recirculação variam conforme a sua produtividade e complexidade, ocorrendo desde sistemas em pequena a larga escala de produção. São empregados nas fases de recria e engorda, incubação de ovos e alevinos, tanto para alimentação humana como para aquariofilia (HELFRICH; LIBEY, 1991), para produção intensiva ou para sistemas de experimentação laboratoriais (FARIA, 2010).

Segundo De Azevedo et al. (2014), as principais vantagens da utilização deste sistema são: Redução da demanda por espaço e água; possibilidade de controle de efluentes; Intenso controle do ambiente de cultivo possibilitando a periodicidade da produção e elevado desempenho zootécnico; localização dos cultivos próximos aos grandes centros de comercialização; possibilidade de isolamento da criação, permitindo a exclusão de parasitas, predadores e competidores indesejáveis.

De acordo com Blancheton (2000), ao se comparar a quantidade de água consumida para produzir um quilo de peixe, cultivos tradicionais em viveiros consomem 329 vezes mais água que um sistema de recirculação. Já o sistema de raceway aplicado a truticultura consome 750 vez mais água (HOPKINS; MANCI, 1992). Além disso, sua emissão de efluentes é praticamente nula, consequentemente redução do impacto ambiental (DE AZEVEDO et al., 2014).

Entretanto, apresenta como principais desvantagens complexidade do funcionamento dos sistemas de filtragem; desconhecimento dos princípios básicos que regem o sistema; dimensionamento inadequado (LOSORDO et al. 1999; KUBITZA, 2006; DE AZEVEDO et al. 2014).

Mesmo com equipamentos básicos de filtração, é possível alcançar elevada produção de forma intensiva e quando se pretende desenvolver cultivos superintensivos é necessário o uso de complexos sistemas de filtragem, que proporcionem adequado tratamento para manutenção da qualidade de água demandada pelos organismos aquáticos, o que, conseqüentemente, aumenta a mão de obra e o custo de implantação (KUBTIZA, 2006).

Devido ao elevado custo de implantação e operação, o sistema de recirculação é mais adequado para a produção de espécies com bom valor de mercado e adaptabilidade ao confinamento em densidades elevadas (DE AZEVEDO et al., 2014).

O uso/implantação de densidades de estocagem elevadas, comparado a utilizada em sistemas tradicionais de cultivo, em SRA (CREPALDI et al., 2006) é possível devido, como destacado anteriormente, a possibilidade do controle dos parâmetros limnológicos limitantes (temperatura, teor de oxigênio e amônia). No entanto, para isso se faz necessário o emprego de mão de obra especializada no funcionamento e manutenção dos componentes do sistema, bem como seu correto dimensionamento (LOSORDO et al., 2004).

### 3.1.2.2 Componentes do Sistema de Recirculação

Para o bom funcionamento de um sistema de recirculação, é necessária a presença de pelo menos seis componentes fundamentais, no entanto é possível a adição de equipamentos que venham tornar mais eficiente o processo de tratamento da água, conseqüentemente otimizar a produtividade do sistema (KUBITZA, 2006).

As estruturas que compõem o sistema de recirculação são: tanques de cultivo; filtros mecânicos, responsáveis pela retirada de partículas grandes (geralmente  $> 30\mu\text{m}$ ); filtros biológicos, que realizam a retirada dos compostos nitrogenados pela ação de bactérias autotróficas; decantadores, que atuam separando os resíduos sólidos, que naturalmente decantam, da água do cultivo; aeradores, difusores ou injetores de oxigênio, responsáveis pela manutenção da concentração de oxigênio dissolvido; bombas e tubulações que servem para retornar a água para os tanques de cultivo; unidade de quarentena, local separado da unidade de cultivo, onde ocorre o tratamento de organismos doentes (KUBTIZA, 2006; CREPALDI et al., 2006).

### 3.1.2.2.1 Ambiente de Cultivo

De acordo com Kubitza (2006), o ambiente de cultivo (tanque) pode apresentar diferentes designs, entretanto os formatos ideais são o circular e o octogonal, pois quando equipados com dreno central, facilitam a remoção dos sólidos decantáveis e evitam zonas “mortas” (Figura 2).

**Figura 2-** Formatos ideais de tanques para recirculação: A) Circular; B) Octogonal.



**Fonte:** A) loja.gbsgeo.com.br; B) iasoglobal.com

Quanto a composição De Azevedo et al (2014) afirmam que os materiais que compõem os tanques de cultivos são bastante diversificados, podendo ser construídos em concreto, fibra de vidro, geomembrana, e outros materiais, conforme a sua dimensão (Figura 3).

**Figura 3-** Materiais que compõem os tanques de cultivo: A) Concreto; B) Fibra; C) Geomembrana.



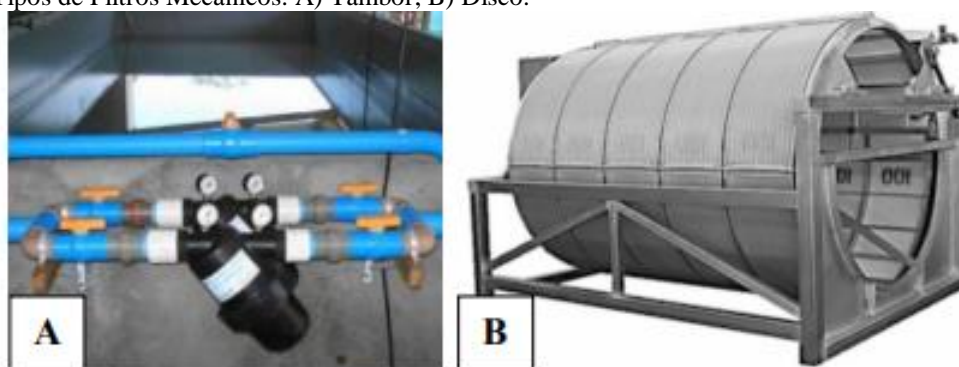
**Fonte:** A) Jietaipu.gov.br; B) ag.auburn.edu; C) georigo.com

### 3.1.2.2.2 Filtragem Física/Mecânica

Segundo Crepaldi et al. (2006) os filtros mecânicos podem ser do tipo tambor, disco (Figura 4) ou esteira. Seu objetivo é solucionar um dos principais problemas em um sistema de recirculação, a retirada dos resíduos sólidos (fezes e resto de ração) da água, os quais são a

principal fonte de resíduos orgânicos (KUBTIZA, 2006; DE AZEVEDO et al., 2014). Tais resíduos devem ser removidos, pois entopem o biofiltro, sufocando as bactérias nitrificantes e através do processo de sua decomposição que, além de consumir oxigênio, liberam amônia (CORSO, 2010).

**Figura 4**-Tipos de Filtros Mecânicos. A) Tambor; B) Disco.



**Fonte:** A) De Azevedo et al. 2014); B) Crepaldi et al. (2006).

Kubtiza (2006), explica que os sólidos podem ser divididos em três grupos: sólidos decantáveis (partículas maiores que 100  $\mu\text{m}$ ), sólidos suspensos (partículas entre 40 e 100  $\mu\text{m}$ ) e sólidos dissolvidos (partículas menores que 40  $\mu\text{m}$ ). De acordo com o autor, os filtros mecânicos retêm a porção de sólidos em suspensão, o qual representa 25% dos sólidos totais. Já sólidos decantáveis (50% do total), são retirados do sistema através de cones, decantadores ou sifonamento. Já os sólidos dissolvidos (25% do total), só podem ser removidos com o auxílio de um fracionador de espuma.

De acordo com Saraiva (2011) a remoção dos sólidos suspensos só ocorre quando a água atravessa a camada filtrante, geralmente constituídas de tela, areia, e/ou areia e seixo. Filtros de tela estacionária são fixados em sentido transversal ao fluxo de água, e são bastante eficientes na remoção de partículas grandes sem alteração de seus componentes químicos (OLIVEIRA, 2013).

Filtros de areia e seixo, tem como característica forçar a passagem da água em fluxos horizontal, ascendente ou descende. A passagem da água nessa camada filtrante ocasiona na remoção quase que total da matéria em suspensão e coloidal. Entretanto, os componentes químicos são alterados e o número de bactérias é reduzido (BABBITT et al. 1976).

Na definição dos materiais que irão compor o filtro é importante levar em consideração que fluxo de água e eficiência na remoção dos resíduos são inversamente proporcionais, quando levados em consideração a granulometria das partículas da camada



filtrante. A eficiência aumenta com o uso de camadas mais finas, mas a taxa de fluxo diminui pela perda de carga do sistema (OLIVEIRA, 2013).

### 3.1.2.2.3 Filtro Biológico

Conforme Piedrahita (2003), nos filtros biológicos ocorre um processo primordial para o bom funcionamento de um sistema de recirculação, o qual consiste na oxidação dos compostos nitrogenados (excretas, resto de ração e organismos mortos), transformando amônia (composto altamente tóxico) em nitrito e nitrato (composto menos tóxico). Esse tipo de filtro normalmente consiste em uma caixa, tanque, cilindro, ou gaiola (Figura 5) preenchida com um substrato que permite a fixação de bactérias realizadoras do processo de nitrificação (KUBITZA, 2006; PEDREIRA et al., 2009). Ou seja, consiste em um meio sólido contido em um recipiente no qual a água efluente é bombeada (BRAZ FILHO, 2000).

**Figura 5**-Filtro Biológico: Caixa de polietileno preenchida com substrato (areia grossa).



**Fonte:** Lima et al., (2015).

Segundo Kubitza (2006), diversos tipos de substratos podem ser utilizados nos biofiltros, sendo os mais comuns: areia grossa; cascalho; brita; esferas plásticas; e flocos de isopor (Figura 6).

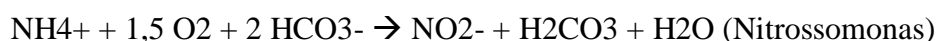
**Figura 6**-Tipos de Substrato para filtro biológico: A) Areia Grossa; B) Cascalho; C) Brita; D) Esfera Plástica; E) Flocos de Isopor.



**Fonte:** A) pedrosoconstrucao.com.br; B) ehow.com.br; C) brasitalia.com.br; D) mercadolivre.com.br; E) solucoesindustriais.com.br.

A nitrificação corresponde à oxidação biológica da Amônia a Nitrato com a formação de Nitrito como intermediário, sob condições aeróbias. A conversão a Nitritos (Equação 1) e Nitratos (Equação 2) envolve duas espécies de bactérias autotróficas específicas, as *Nitrosomonas* e as *Nitrobacter*, que obtêm energia a partir de compostos inorgânicos como a Amônia e os Nitritos, respectivamente (WEF, ASCE, EWRI, 2005).

**Equação 1** – Processo de Nitrosação.



As bactérias *Nitrobacter* continuam o processo de nitrificação convertendo os nitritos em nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), processo denominado de nitração (Equação 2).

**Equação 2** – Processo de Nitração.



A eficiência do processo de nitrificação descrito é influenciado por diversos parâmetros físico-químicos, como: pH, temperatura, concentração de oxigênio dissolvido, alcalinidade, e relação C/N (BASSIN, 2008). Para conseguir um desempenho satisfatório do processo, os valores de pH devem estar entre 6,5 e 8,0 (WEF, ASCE, EWRI, 2005; MAYER et al., 2009); Para temperatura recomendam-se valores entre 35 e 42 C° (BASSIN, 2008; PAREDES et al., 2007); Quanto ao oxigênio, são recomendados valores acima de 2 mg/l-1 (BASSIN, 2008).

Devido ao processo de nitrificação acontecer de forma contínua, é importante monitorar as concentrações de nitrato, pois gradativamente esse composto se acumula no sistema, por isso é recomendável realizar troca periódica de 1 a 10% da água do sistema (HUGUENIN e COLT, 1989; DAWES, 1991).

Kubtiza (2006), explica que durante o processo de nitrificação consome-se cerca de 4,6g de oxigênio para cada grama de amônia oxidada a nitrato. Como o consumo de oxigênio acarreta a produção de gás carbônico e liberação de íons  $\text{H}^+$ , sucessiva, no decorrer do tempo, ocasiona a redução no pH e da alcalinidade total da água. Nesse sentido, torna-se necessário a adição de oxigênio e eliminação do excesso de gás carbônico através da aeração da água após passar pelo biofiltro, e periodicamente realizar aplicações controladas de calcário ou cal

hidratada para recompor o pH e a alcalinidade da água do sistema (KUBTIZA, 2006; DE AZEVEDO et al., 2014).

Para garantir que a nitrificação ocorra a taxas mais rápidas ou iguais a taxa de produção de amônia no sistema, o biofiltro deve ser dimensionado para suportar a taxa de alimentação planejada para o sistema (MACHADO et al. 2002), prevenindo acúmulo da amônia na água e seus consequentes prejuízos ao desempenho e a saúde dos peixes (KUBTIZA, 2006).

Segundo Kubitza (2006), biofiltros utilizados em sistemas de recirculações para peixes, conforme a superfície específica do substrato presente no biofiltro, removem cerca de 0,2 a 0,6 g de amônia/m<sup>2</sup>. Essa superfície específica, consiste na área de contato disponível para a fixação das bactérias (m<sup>2</sup>) para cada m<sup>3</sup> de volume do substrato, portanto cada tipo de substrato possui uma área específica. A tabela 1 apresenta área específica de alguns substratos utilizados em biofiltros.

**Tabela 1-** Área específica de substratos utilizados em biofiltros.

Substrato	Área específica (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
Areia Fina	5.000
Areia grossa	2.300
Esferas plásticas	1.700
Argila (5mm)	2.400
Argila Expandida (25mm)	300

Fonte: Kubitza (2006).

#### 3.1.2.2.4 Sistema de aeração/oxigenação

O sistema de aeração/oxigenação pode ser composto por soprador de ar, compressor de ar, aeradores mecânicos de diversos tipos (tipo pá ou chafariz), injeção direta de O<sub>2</sub> (Figura 7) ou mesmo uma combinação entre dois ou mais tipos (CORSO, 2010).

**Figura 7-**Sistemas de aeração/oxigenação: A) Soprador; B) Compressor; C) Aerador tipo pá; D) Aerador Chafariz.



Fonte: A) chblower.com; B) aliexpress.com; C) portuguese.alibaba.com; D) aeradoresgaiivota.com.br

Segundo Braz Filho (2000), seu objetivo é incorporar quantia de oxigênio dissolvido na água necessário ao sistema, o qual tem como consumidores: a biomassa, a matéria orgânica (DBO), e o biofiltro.

Kubtiza (2006), afirma que em média, cada quilo de ração fornecido consome 250g de O<sub>2</sub> pelos peixes e até 140g de O<sub>2</sub> pelas bactérias do biofiltro. Ou seja, consumo de 400g de oxigênio do sistema a cada 1 kg de ração no sistema.

Nesse sentido, é importante o bom dimensionamento, ou posicionamento desse sistema, pois quando isso é feito de maneira incorreta, acarreta a excessiva agitação da água dentro dos tanques de cultivo, ressuspendendo e fracionando os resíduos sólidos. Assim, é recomendado concentrar a aeração em outros pontos do sistema, em especial após a saída do biofiltro (KUBTIZA, 2006; CORSO, 2010).

### 3.1.2.3 Fluxo de água

Em sistemas de recirculação, o fluxo da água pode acontecer tanto por gravidade quanto bombeamento, por isso na hora de planejar o design do sistema é importante maximizar os pontos de gravidade, para reduzir as despesas com energia e manutenção, e também os riscos por falhas dos componentes do sistema (KUBTIZA, 2006).

Além disso, o dimensionamento das bombas e tubulações, deve ser feito por profissionais que apresentem conhecimentos sobre hidráulica, evitando assim um sub ou super dimensionar o sistema hidráulico (DE AZEVEDO, et al. 2014).

### 3.1.2.4 Manejo em sistemas de recirculação

Alguns pontos são fundamentais para que o sistema de recirculação funcione de forma eficiente. Dentre tais pontos, tem-se: manutenção do bem estar dos peixes e da vazão e qualidade da água. (CORSO 2010).

Os peixes devem ser manejados de forma correta para que se mantenha o bem estar desses animais e se tenha boa saúde, para que, dessa forma, expressem bem o seu potencial produtivo (KUBITZA, 2006). Vale ressaltar que os sistemas devem conter uma “unidade de quarentena” na qual deve ser fisicamente separada da unidade de produção e contar com seus próprios tanques, filtros, biofiltros, sistema hidráulico e equipamentos de aeração. Peixes recém-chegados ao empreendimento devem permanecer em observação nesta unidade durante algumas semanas para certificar-se de que estão livres de organismos patogênicos. Durante a

quarentena os peixes geralmente recebem tratamento profilático e terapêutico para eliminar potenciais parasitos ou tratar algum tipo de doença (KUBITZA, 2006).

Para que se assegure um ambiente adequado para produção de peixes é necessário que as vazões de água e oxigênio sejam mantidas ininterruptamente. Para garantir isso, é importante que se tenha uma fonte reserva de energia. A principal causa da variação da vazão de água e oxigênio se deve a compressão que ocorre nas tubulações devido ao crescimento de algas, bactérias e fungos que proliferam em decorrência dos altos níveis de nutrientes e matéria orgânica existente na água. Essas alterações podem aumentar ou diminuir os níveis de água do tanque, reduzindo a eficiência da aeração e reduzindo a eficiência do biofiltro. Entretanto, este problema pode ser amenizado como o correto dimensionamento da tubulação (MASSER; RAKOCY; LOSORDO, 1999).

Em sistemas de recirculação, a boa qualidade da água é primordial para maximizar o desenvolvimento dos peixes e das bactérias presentes no biofiltro (MASSER; RAKOCY; LOSORDO, 1999). Para que se tenha sucesso na sua operação, deve-se implementar uma estratégia eficiente e econômica para o tratamento da água e adotar práticas adequadas na condução do cultivo (KUBITZA, 2006).

Uma das ferramentas para esse sucesso é o uso de rações de boa qualidade em sistemas de recirculação, o peixe depende inteiramente dos nutrientes fornecidos pela ração, já que a disponibilidade de alimento natural é mínima e não conseguiria suprir deficiências minerais e vitamínicas na ração (CORSO, 2010).

Segundo Kubitza (2006), o uso de rações com alta digestibilidade ocasionam menor produção de resíduos sólidos, evitando o excesso desse composto na água e conseqüentemente a sobrecarga dos filtros mecânicos. Rações com adequado balanço energia/proteína e um bom equilíbrio em aminoácidos, ajudam a diminuir a excreção de amônia pelos peixes, logo amenizam o trabalho das bactérias no biofiltro.

Embora rações de alta qualidade deteriorem menos a água, é indispensável monitorar a qualidade da mesma. O monitoramento deve ser feito periodicamente por equipamentos confiáveis e que forneçam os seguintes parâmetros: temperatura (°C), oxigênio dissolvido (OD), gás carbônico (CO<sub>2</sub>), sólidos em suspensão (turbidez), amônia (NH<sub>3</sub>), nitrito (NO<sub>2</sub>), nitrato (NO<sub>3</sub>), pH, salinidade, e potencial de oxirredução (DE AZEVEDO et al., 2014).

Além de monitorar periodicamente a água, deve-se conhecer os princípios, interações e processos físicos, químicos e biológicos que determinam a qualidade da mesma (KUBITZA, 2006), pois existe uma inter-relação entre os parâmetros de água, sendo necessário analisa-los

em conjunto. Por exemplo, o mesmo valor de amônia em pH 8,0 pode ser letal para os organismos cultivados, e não letal em pH 7,2 (BRAZ FILHO, 2000).

Também se faz necessário aprimorar o conhecimento de estratégias utilizadas na correção da qualidade da água como: Os princípios que regem a aeração; o uso de cal e calcário, para correção do pH, alcalinidade e reduzir a concentração de gás carbônico na água; a aplicação de sal (cloreto), para aliviar o estresse causado por nitrito e prevenir o surgimento de doenças (KUBTIZA, 2006).

### 3.1.2.5 Utilização de sistemas de recirculação para pesquisas no Brasil e no mundo

O sistema de cultivo com recirculação de água tem sido adotado em diversos países, como alternativa ao consumo intenso da água dos sistemas tradicionais. No Brasil, o interesse de investidores pelo cultivo de peixes em sistemas fechados deu-se no final da década de 90, visando a recria e a engorda de tilápias (KUBTIZA, 2006).

Estudos comprovam que a implementação de sistemas de recirculação está se tornando uma prática cada vez mais frequente, uma vez que atividades sustentáveis e ecologicamente corretas são imprescindíveis nos dias atuais, pois proporcionam uma significativa redução no volume de água utilizado, otimização dos espaços de cultivos e, principalmente, permitindo maior controle sobre as variáveis ambientais dos sistemas (HELDBO, 2015).

O processo de evolução destes sistemas vem acontecendo ao longo das últimas três décadas e muitas dessas tecnologias foram desenvolvidas através de pesquisas em universidades e outros setores, que se dedicam a investigação de metodologias, técnicas e equipamentos que contribuam para o refinamento dos processos de purificação e reutilização da água na aquicultura (TIMMONS; EBELING, 2010). Algumas dessas pesquisas estão presentes no quadro 1.

**Quadro 1** – Exemplos de pesquisas sobre a utilização do Sistema de Recirculação de Água (SRA) em aquicultura desenvolvidas no Brasil e no mundo.

<b>Trabalho</b>	<b>Local</b>	<b>Resultados Obtidos</b>	<b>Autor</b>
Sistema Fechado Simples de Recirculação para Recria de Peixes ou Camarões de Água-Doce	Brasil	O sistema é indicado como berçário para peixes redondos (tambaqui e seus híbridos), tilápias e camarões de água-doce.	LIMA et al. (2015)
Sistema de recirculação e rotina de manejo para larvicultura de camarões de água doce <i>Macrobrachium rosenbergii</i> em pequena escala	Brasil	A sobrevivência e a produtividade pós-larvas do camarão de água doce <i>Macrobrachium rosenbergii</i> foram compatíveis com larviculturas comerciais, variaram de 60,5 a 72,4 % e de 37 a 72 pós-larvas/L, respectivamente. Portanto, este sistema de larvicultura pode ser útil em laboratórios de pesquisa ou adaptado para a produção de pós-larvas em pequena escala.	VALENTI, W.C; MALLASEN, M. ; BARROS, H.P (2009)
Implantação de um sistema de recirculação de água <i>low cost</i> em estufa	Brasil	Comparativamente aos sistemas tradicionais de cultivo de peixe em viveiros, os sistemas de recirculação proporcionam menor consumo de água por quilo de peixe produzido (redução de mais de 90%) além de ter a vantagem de praticamente anular a emissão de efluentes, consequentemente reduzindo impactos ambientais.	COUTINHO et al. (2016)
Cultivo do robalo-peva, <i>Centropomus parallelus</i> , em sistema de recirculação marinho	Brasil	O sistema de recirculação de água do mar proposto neste estudo se mostrou adequado à produção de formas jovens de <i>C. parallelus</i> . A densidade de estocagem de 20 peixes/m <sup>3</sup> promoveu melhor desempenho produtivo comparativamente a densidade de 7 peixes/ m <sup>3</sup> e pode ser recomendada como referência em novos estudos em sistemas de recirculação com esta espécie.	SANCHES et al. (2011)
Cultivo de Camarão Branco <i>Litopenaeus vannamei</i> (Boone, 1931) com a Macroalga <i>Ulva lacuata</i> Linneaus (Chlorophyta) no Tratamento de Efluentes em Sistema Fechado de Recirculação	Brasil	Não foi constatada diferença significativa de ganho em peso entre os camarões cultivados nos sistemas com alga e sem alga. <i>U. lactuca</i> reduziu em 94% as concentrações de amônia e em 39,5% as concentrações de ortofosfato emitidas no sistema de recirculação.	ALENCAR, J. R. D.; JUNIOR, P.A.H.; CELINO, J.J (2010)
Cultivo de surubim pintado ( <i>Pseudoplatystoma corruscans</i> ) e híbrido ( <i>P. reticulatum X P. corruscans</i> )	Brasil	No experimento 1, foi observado que as duas linhagens se adaptaram ao SRA, porém a linhagem híbrida teve melhor desempenho que a linhagem pura. No experimento 2, a	MIRANDA, M. O. T (2012)

em sistema de recirculação de água		maior taxa de renovação de água proporcionou melhor desempenho e o aumento de densidade, incrementando a produção final.	
Piscicultura superintensiva associada à hidroponia em sistemas de recirculação de água	BRASIL	Qualidades físico-químicas da água foram mantidas adequadas durante todo período experimental. Foram obtidos valores satisfatórios quanto ao ganho de peso, peso final, conversão alimentar e sobrevivência dos peixes.	CRIVELENTI, L.Z.; BORIN, S.; da SILVA, N.R (2009)
Um sistema semi-recirculante e integrado para o cultivo de peixes e algas marinhas	Israel	A recirculação através do biofiltro melhorou a sustentabilidade do sistema; reduziu o consumo de água, reduziu o impacto ambiental negativo e manteve condições estáveis e seguras de qualidade da água no viveiro de peixes.	SCHUENHOFF et al. (2002)
Adoção de sistemas de recirculação de aquicultura em grandes fazendas de <i>pangasius</i> : um experimento de escolha	Vietnã	Para estimular a adoção do RAS, recomenda-se que os formuladores de políticas visem agricultores com fazendas localizadas em áreas de intrusão de água salgada, além de políticas que vinculem o acesso ao crédito com investimentos em sustentabilidade.	NGOC et al. (2016)
Um sistema integrado de aquicultura recirculante (RAS) para a piscicultura em terra: os efeitos na qualidade da água e na produção de peixe.	China	Como resultado, a produção de peixe respondeu à variação da qualidade da água, que se refletiu nas medidas de eficácia da cultura (peso final, taxa de sobrevivência, SGR e rendimento)	ZHANG et al. (2011)
Produção da variedade norte-americana de salmão do atlântico <i>Salmo salar</i> em um sistema recirculante de aquicultura terrestre usando água doce.	USA	A pesquisa sugere que é biologicamente e tecnologicamente viável o cultivo do salmão do Atlântico em RAS terrestre de escala comercial adequada para o tamanho de mercado, no entanto a maturação precoce do macho pode representar uma barreira de produção.	DAIVIDSON et al. (2016)



### 3.1.3 Conclusão

Os Sistemas de Recirculação de água tornam-se uma alternativa de aquicultura sustentável, por diminuir consideravelmente os impactos ambientais, melhora o aproveitamento da água, alimentos e medicamentos e promovem maior controle sanitário na produção. Além disso, são versáteis quanto ao local de instalação, possuem menor tamanho, apresentando-se como uma forma de cultivo em locais com limitações de uso de água ou longe de zonas litorâneas e ainda para o cultivo de espécies exóticas à região, podendo ser considerado um nicho de mercado em algumas situações. O maior entrave da utilização desses sistemas ainda é o alto custo de instalação, no entanto se o manejo for empregado corretamente espera-se que os ganhos produtivos sejam consideráveis por se tratar de um sistema de cultivo com altas densidades de estocagem.

### 3.1.4 Referências

ALENCAR, J. R. D.; JUNIOR, P. A.H.; CELINO, J.J. Cultivo de Camarão Branco *Litopenaeus Vannamei* (Boone, 1931) com a Macro-alga *Ulva Lacuata* Linneaus (Chlorophyta) no Tratamento de Efluentes em Sistema Fechado de Recirculação. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, Brasil. vol. 10, núm. 1, pp. 117-137. 2010.

AUBURN University. Recirculating Aquaculture Systems in Use/ Gadsden State community College shrimp post-larvae tank. Disponível em: <[http://www.ag.auburn.edu/fish/image\\_gallery/details.php?image\\_id=1456](http://www.ag.auburn.edu/fish/image_gallery/details.php?image_id=1456)>. Acesso em: 25 de outubro de 2018.

BABBITT, H. E., DOLAND, J. J. CLEASBY, J. L. *Abastecimento de água*. n.1. São Paulo: Edgard Blucher. 592p. 1976.

BASSIN, J. P. *Nitrificação de efluentes salinos em reatores de leito móvel com biofilme e biorreatores agitados*. 2008. Dissertação de Mestrado. – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

BLANCHETON, J.P. Developments in recirculation systems for Mediterranean fish species. *Aquacultural Engineering*, v.22, p. 17-31. 2000.

BRAZ FILHO, M. S. P. *Qualidade na Produção de Peixes em Sistema de Recirculação de Água*. São Paulo, p. 41. 2000.

COUTINHO, C.R.; CORREIA, D.; DURIGON, E.G.; EMERENCIANO, M.G.C.; MELLO, G.L.D. *Implantação de um sistema de recirculação de água low cost em estufa*. Seminário de iniciação científica UDESC, 2016.

CREPALDI, D. V; TEIXEIRA, E. A.; FARIA, P. M. C.; RIBEIRO, L. P.; MELO, D. C.; CARVALHO, D.; SOUSA, A; B.; SATURNINO, H. M. Sistemas de produção na piscicultura. *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, v. 30, n. 3-4, p. 86-99, 2006.

CRIVELENTI, L.Z.1; BORIN, S.1; da SILVA, N.R. Piscicultura superintensiva associada à hidroponia em sistema de recirculação de água. *Archives of Veterinary Science*, v.14, n.2, p.109-116, 2009.

CORSO M. N. *Uso de sistemas de recirculação na aquicultura*. Monografia apresentada a (faculdade de veterinária), 36 p. 2010. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

DAVIDSON, J.; MAIO, T.; BOA, C.; WALDROP,B.; KENNEY,B.; FYHN,T.B.; SUMMERFELT, S. Produção da variedade norte-americana Atlantic *Salmo Salar* em um sistema de aquicultura recirculante em terra usando água doce. *Aquacultural Engineering*. v. 74, p. 1-16, 2016.

DAWES, C.J. *Botânica marina*. Editorial Noriega Limusa. México. 673p. 1991.

DE AZEVEDO, V. G.; GALLO NETO, H.; ALMEIDA, H. L. P. S.; SANCHES, E. G. *Sistemas de Recirculação para Cultivo de Peixes Marinhos - Procedimento Operacional Padrão (POP)*. Disponível em: <[http://www.pesca.sp.gov.br/Sist\\_RecirculacaoCultivodePeixesMarinhos14.pdf](http://www.pesca.sp.gov.br/Sist_RecirculacaoCultivodePeixesMarinhos14.pdf)>. Acesso em 14 de setembro de 2018.

ELER, M. Noélia; MILLANI, T. J. Métodos de estudos de sustentabilidade aplicados a aquicultura. *Revista Brasileira de Zootecnia*. vol.36, p.33-44, 2007.

- EPA – U.S. Environmental Protection Agency – Technology Transfer. *Process design manual for nitrogen control*. Washington, 1975.
- FARIA, P. M. C. *Produção de Híbridos de Pseudoplatystoma Spp. em Sistema de Recirculação de Água*. 2010, Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Medicina Veterinária) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- HELDBO, J. "Sistemas de Recirculação – A Vanguarda da Aquicultura Dinamarquesa" *Panorama da Aquicultura*. V 25, n. 148, p. 14-23, 2015.
- HELFRICH, L.A.; LIBEY, G. *Fish farming in Recirculating Aquaculture Systems (RAS)*. 1991. 19 f. Department of Fisheries and Wildlife Sciences, Virginia Tech. 1991.
- HENZE, M.; et al . *Wastewater treatment – Biological and chemical process*. Springer Verlag, 2 ed. Alemanha: 1997.
- HOPKINS, A.; MANCI, W.E. Aquaculture: oportunity now. *Aquaculture Magazine*, v.18, p.44, 1992.
- HUGUENIN, J.E.; COLT, J. *Design and operating guide for aquaculture seawater systems*. Editorial Elsevier. E.U.A. 263p. 1989.
- KUBITZA, F. Sistemas de Recirculação: sistemas fechados com tratamento e reuso da água. *Panorama da Aquicultura*, Rio de Janeiro, v. 16, n. 95, p. 15-22, 2006.
- LIMA, J. F.; TAVARES-DIAS, M.; YOSHIOKA, E. T. O.; DOS SANTOS, E. F.; DUARTE, S. S.; BASTOS, A. M.; MONTAGNER, D. *Sistema Fechado Simples de Recirculação para Recria de Peixes ou Camarões de Água-Doce*. EMBRAPA, Comunicado Técnico 136. ISSN 1517-4077. Macapá, 2015.
- LOSORDO, T.M.; MASSER, M.P.; RAKOCY, J.E. Recirculating aquaculture tank production systems: Management of recirculating systems. *Southern Regional Aquaculture Center*, n. 452, 20p. 1999.
- LOSORDO, T. M.; RAY, L.E.; DELONG, D.P. Flow-through and Recirculating Systems. In: *Biology and Culture of Channel Catfish* C.S. Tucker and J. A. Hargreaves. *Elsevier B.V.* 560p. 2004.
- MACHADO, R.; BERNARDO, L. D.; TANGERINO, E. *Crítérios de dimensionamento de filtros rápidos por gravidade com taxa declinante variável*. In: XXVIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún, p. 2 – 8, 2002.
- MADIGAN, T.M., MARTINKO, J.M., PARKER, J. *Brock biology of microorganisms*, Prentice Hall, 8ª edição, New York, 1997.
- MARTINS, C. I. M. et al. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*, v. 43, n. 3, p. 83-93, 2010.
- MARTINS, C. I. M.; EDING, E. P.; VERRETH, J. A. J. The effect of recirculating aquaculture systems on the concentrations of heavy metals in culture water and tissues of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Food Chemistry*. v. 126, n. 3, p. 1001-1005, 2011.
- MASSER, M.P., RAKOCY, J., LOSORDO, T. M. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems - Management of Recirculating Systems. Revision *Southern Regional Aquaculture Center*, Mississippi, n. 452, 1999.

- MIRANDA, M. O. T. Cultivo de surubim pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*) e híbrido (*P. reticulatum* X *P. corruscans*) em sistema de recirculação de água, 2012. Tese (Pós- Graduação em Ecologia e Recursos Naturais) - Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2012.
- NGOC, P.T.; P.M, M.; CONG, L.T.; BOSMA,H.R.; VERRET, J.; LANSINK, O.A. Adoção de sistemas de recirculação de aquicultura em grandes fazendas de pangasius: um experimento de escolha. *Aquaculture*. Volume 460, 1 de julho de 2016 , páginas 90 a 97.
- OLIVEIRA, P. N. *Engenharia para aquicultura*. n.1, Fortaleza: Pedro Noberto de Oliveira, 356 p. 2013.
- OWATARI, M. S. *Fibra Sintética Como Suporte Biológico Em Sistemas De Recirculação Para Aquicultura (RAS)*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Aquicultura) - Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, 2016.
- PAREDES, D., KUSCHK, P., MBWETTE, T.S.A., STANGE, F., MÜLLER, R.A. E KÖSER, H. New aspects of microbial nitrogen transformations in the context of wastewater treatment, Review. *Engineering in Life Sciences*, Weinheim , v. 7, p. 13–25, 2007.
- PEDREIRA, M. M. et al., Biofiltração da água e tipos de substrato na larvicultura do pacamã *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v.44, n.5, p. 511 – 518, 2009.
- PIEDRAHITA, H. R., Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation. *Aquaculture*. 226, 35 – 44. 2003.
- ROSSI, V. G. *A Utilização da Tecnologia de Bioflocos (TBF) na Piscicultura: Histórico e Principais Técnicas de Manejo do Sistema*. 2014. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Medicina Veterinária) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- SANCHES, E.G.; OLIVEIRA, I,D,R.; SERRALHEIRO, P.C.D.S.; OSTINI, S. Cultivo do robalo-peva, *Centropomus parallelus*, em sistema de recirculação. *Arq. Ciên. Mar*, Fortaleza, 2011, 44 (1): 40 – 46.
- SARAIVA, A. L. L. *Qualidade de água*. n.1, Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia, 2011. 57 p.
- SCHUENHOFF, A.; SHPIGEL, M.; MULKILUPATSCH, I; ASKENAZI, A.; MSUYA, F.; Um sistema semi-recirculante e integrado para o cultivo de peixes e algas marinhas. *Aquaculture Elsevier*; 2002. Páginas 167-181
- TACON A.G.J.; FOSTER I.F. Aquafeeds and the environment: policy implications. *Aquaculture*. n. 226 , p. 181-189, 2003.
- TIMMONS, M. B., EBELING, J. M. *Recirculating Aquaculture*, 2nd edition. Cayuga Aqua Ventures, Ithaca, NY, 2010.
- VALENTI, W.C ; MALLASEN, M. ; BARROS, H.P. Sistema de recirculação e rotina de manejo para larvicultura de camarões de água doce *Macrobrachium Rosenbergii* em pequena escala. *Boletim Instituto de Pesca*, São Paulo, 35(1): 141 – 151, 2009.
- WEF, ASCE, EWRI (2005). *Biological nutrient removal (BNR) operation in wastewater treatment plants*. Manual of Practice nº 29 of WEF and Manuals and Reports on Engineering Practice nº 109 of WEF, ASCE, EWRI, WEF Press, McGraw-Hill, New York

ZHANG, S.Y.; LI, G.; BIWU, H.; LIU, X.G.; YAO, Y.H.; TAO, L.; LIU, H. Um sistema integrado de aquicultura recirculante (RAS) para a piscicultura em terra: os efeitos na qualidade da água e na produção de peixe. *Aquacultural Engineering*. V 45, n.3, p.93-102, 2011.

## **3.2 Carvão ativado (CA)**

### **3.2.1 Características do carvão ativado**

Segundo Claudino (2003), carvão ativo ou carvão poroso é o nome dado a materiais carbonáceo que possuem grande capacidade de adsorção, conferida pelo elevado volume dos poros, e, portanto, elevada área específica. Assim, a área específica dos carvões ativados pode variar entre 500 e 300 m<sup>2</sup> /g dependendo do tamanho e da distribuição dos poros no material. Para o autor, o carvão ativado é um excelente adsorvente, com alta capacidade de adsorção, muito usado para purificar, desintoxicar, desodorizar, filtrar, descolorir, declorificar e remover uma gama de materiais líquidos e gasosos.

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 et al. 2008).

#### *3.2.1.1 Porosidade*

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 (COSTA, 2014). Segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), citado por Gomes (2010), os poros do CA podem ser classificados em função do diâmetro como macroporos: maior que 50nm; mesoporos: entre 2 e 50nm; microporos primários: entre 0,8 e 2nm e microporos secundários: menos que 0,8nm (Quadro 2).

**Quadro 2** – 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: CLAUDINO, 2003 adaptado de IUPAC.

### 3.2.1.2 Adsorção

Segundo Mezzari (2002), adsorção consiste no 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. 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. A adsorção física (também chamada fisissorção ou adsorção de Van der Waals, se dá 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, 2002).

### 3.2.1.3 Propriedades físicas

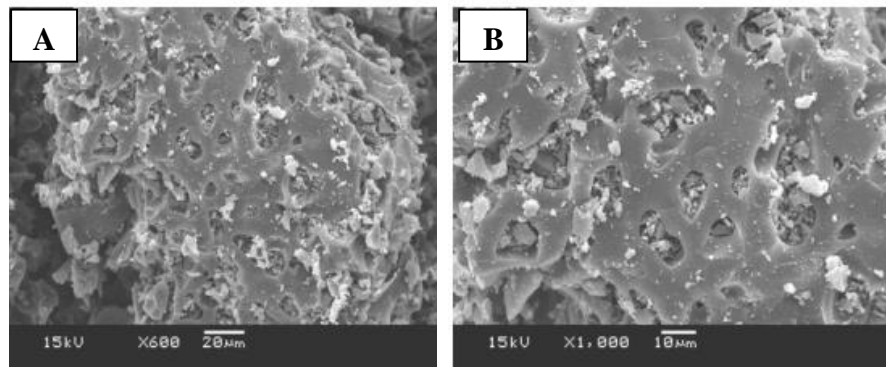
As propriedades texturais (físicas) dos carvões ativados fundamentam-se em duas características importantes: tamanho de poro e área superficial. Uma metodologia para determinar a área superficial é descrita pelo modelo Brunauer-Emmett-Teller (BET), sendo determinada pela medida da isoterma de adsorção 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 como: área superficial total (BET); da adsorção de nitrogênio; porosidade e distribuição de tamanhos de poros, através de porosímetros; da morfologia do material observada através de microscopia eletrônica (RIVERA-UTRILLA 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.

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  $\mu\text{m}$  como mostrado na figura 8.

**Figura 8-**Fotomicrografia do carvão ativado de açaí com magnificação de 600X(A) e 1000X(B).



Fonte: CRUZ, 2010.

#### 3.2.1.4 Propriedades químicas

O teor de umidade, expresso em porcentagem em relação ao peso original é uma propriedade química dos carvões que afeta diretamente na sua capacidade adsorviva. 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 (COSTA,2014).

Além desta, outra característica importante é a presença de minerais no carvão, que interfere na medição da condutividade elétrica do mesmo. NG et al. (2002) citam que um carvão ativado com grande quantidade de minerais terá uma condutividade elétrica elevada, onde essa propriedade é medida através da água de lavagem do carvão ativado. Afirmam ainda que a condutividade elétrica elevada pode restringir as aplicações do carvão, 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.

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 ; 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).

### 3.2.2 Produção do carvão ativado

De acordo com Clark (2010), os carvões ativados são obtidos através de duas etapas: a carbonização do material precursor, por meio da queima e a ativação propriamente dita. No entanto, o desempenho do carvão ativado está diretamente 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.

A carbonização se dá 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. A taxa de aquecimento, a temperatura fina, o fluxo de gás de arraste e a natureza de matéria-prima são parâmetros importantes que irão determinar a qualidade e o rendimento do carvão ativado (CLAUDINO, 2003; CUBAS, 2010).

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). De acordo com Brum (2007), ativação visa o aumento da área superficial de carvão proporcionando, desse modo, o aumento da sua porosidade.

Fernandes (2010) classifica os processos de ativação em duas formas que podem ser química ou física. A ativação química consiste na impregnação de agentes ativantes como Cloreto de Zinco (ZnCl<sub>2</sub>), Ácido Fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), Hidróxido de Sódio (NaOH), etc., no material não carbonizado, onde estes agentes proporcionarão a formação de ligações cruzadas, tornando o material menos propenso a volatilização quando aquecido a temperatura elevada. Já a ativação física consiste na reação do carvão com vapores de água, CO<sub>2</sub> ou uma mistura de gases após a carbonização. Para tanto, os gases são injetados na estrutura do carvão.

### 3.2.3 Utilização do carvão ativado para o tratamento de água

Filtros à base de carvão ativado são amplamente utilizados para tratamento de água. Segundo Marsh e Rodriguez-Reinoso (2006) os principais mercados consumidores de carvão ativado em ordem decrescente de importância são: tratamento de água, descoloração, processamento químico e farmacêutico, indústria de alimentos, purificação de ar e gás. O mercado está aumentando em consequência de questões ambientais, especialmente frente ao tratamento de água e purificação do ar.

Costa (2014) empregou o resíduo do açaí apenas calcinado como meio filtrante em para o pós-tratamento de efluentes e para a de águas superficiais, obtendo eficiência em alguns parâmetros físico-químicos como DQO, DBO, cor aparente, turbidez e N-amoniaco

Pereira e Rodrigues (2013) elaboraram um filtro de carvão ativado de caroço de açaí, o qual apresentou resultados satisfatórios ao longo da carreira de filtração no tratamento de água para consumo humano, demonstrando eficiência para a redução de turbidez, ferro e coliformes totais. Outros trabalhos fizeram uso do autor, contudo, implementaram pequenas alterações e a aplicação de análises diferenciadas e diferentes métodos de ativação química, visando melhor caracterização do meio filtrante e aprofundamento na análise da água, tal qual Cunha et al. (2014) e Souza (2019).

Fernandes (2010) produziu carvão ativado (ativação física com vapor de água) do endocarpo do coco e avaliou a eficiência do CA no tratamento de água superficial, avaliou as variáveis cor aparente, turbidez, pH, OD e DQO. Como resultados obteve de remoção de 88 % na cor aparente, 18 % na turbidez, pH passou de 7,63 para 8,40.

Coelho e Bernardo (2012) destacam o filtro misto de areia e carvão ativado de granular como uma alternativa para a remoção de matéria orgânica e inorgânica em suspensão.

Além da utilização do carvão ativado para tratamento de efluentes Matthiensen e Quadros (2012) afirmam que a utilização do carvão ativado diminui a concentração de Geosmina e MIB, os principais compostos que oferecem o gosto de barro ao peixe. Em termos de eficiência de remoção, o carvão ativado é o melhor método que existe, entretanto, dependendo do tipo de água, esta eficiência pode ser afetada.

O carvão ativado se trata de um produto muito caro para ser usado em grandes quantidades, o que fortalece a necessidade de utilização de materiais alternativos na produção do carvão ativado (FERNANDES, 2010; PEREIRA e RODRIGUES-JUNIOR, 2013).

### 3.3 Caroço do açaí

O açaí (*Euterpe oleracea*) é uma palmeira pertencente à família Arecaceae Nativa da América do Sul, considerada um produto alimentar típico do Brasil de maior importância econômica, social e cultural da região norte, em especial à população paraense (BRONDIZIO et al., 2002). Contudo, o principal produto é o seu fruto de onde se extrai o “vinho do açaí”, sendo o alimento principal do dia a dia para muitas famílias. O seu fruto é arredondado de 1 a 2 cm de diâmetro e um peso médio de 0,8 a 2,3g, seu epicarpo é de cor violácea- púrpura quase negra e muito fino, tem apenas 1 a 2 mm de espessura. O epicarpo e o mesocarpo constituem a parte comestível do fruto (TEIXEIRA et al, 2006), no entanto as fibras do fruto do açaizeiro, fixadas ao mesocarpo (Figura 9) , só podem ser vistas após o processo de beneficiamento do suco (MESQUITA, 2013).

**Figura 9-**Caroço de açaí após o processo de beneficiamento



**Fonte:** Acervo pessoal.

Segundo Yuyama et al., (2011) a parte comestível do açaí, polpa, constitui cerca de 32% da massa total do fruto, e o caroço os 68% restantes. Dessa forma, o caroço de açaí é um material orgânico rico em carbono, que Segundo Teixeira et al., (2006), apresenta teor acima de 48%. Essa característica faz com o resíduo gerado pelo fruto seja bastante utilizado como ingrediente na compostagem ou na produção de adubo orgânico.

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).

### 3.3.1 Resíduos de açaí

Devido o aumento no consumo do açaí a nível regional e nacional, diversas pesquisas vêm se desenvolvendo, em especial sobre o “vinho”, porém poucas relacionadas 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 (Figura 10), segundo a Associação dos Batedores de Açaí da Região Metropolitana de Belém (COSTA, 2014).

**Figura 10**-Descarte inadequado do caroço de açaí nas ruas.



**Fonte:** Marcelo Lélis/Diário do Pará

Segundo a Lei nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010), que institui a respeito da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), os caroços de açaí são considerados como resíduos de atividade comercial, logo a responsabilidade para a coleta e destinação é de seu gerador, no caso os batedores. Como não são realizadas fiscalizações nos estabelecimentos responsáveis pelo processamento do fruto, ocorre uma grande problemática quanto à disposição inadequada

dos caroços de açaí, contribuindo para problemas ambientais e sanitários de uma cidade (DE SOUSA, 2017).

### 3.4 Espécie Cultivada

O tambaqui *Colossoma macropomum* foi descrito por George Cuvier em 1816. A espécie, nativa dos rios Amazonas, Orinoco e seus afluentes, é pertencente à classe Actinopterygii, ordem Characiformes, família Serrasalminae (BUCKUP et al., 2007), é conhecida por outros nomes populares como cachama na Venezuela e Colômbia, e gamitama no Peru. No Rio Amazonas, o tambaqui é comumente encontrado da foz do rio Xingu, no Estado do Pará, até o Médio rio Ucaiali, no Peru (ARAÚJO-LIMA e GOULDING 1998; BALDISSEROTTO e GOMES, 2005).

A espécie é um caracídeo redondo de corpo bastante alto, tornando-se mais alongado e levemente comprimido lateralmente na fase adulta. Apresenta corpo coberto por escamas, nadadeira adiposa curta com raios na extremidade, dentes molariformes e rastros branquiais longos e numerosos. A coloração geralmente é parda na metade superior e preta na metade inferior do corpo, mas pode variar para mais clara ou mais escura dependendo da cor da água (Figura 11). Na natureza, alcança o tamanho máximo entre 90 cm a 100 cm de comprimento, com peso entre 30 kg e 40 kg (GOULDING e CARVALHO, 1982).

**Figura 11-** Tambaqui jovem.



**Fonte:** Acervo pessoal.

A espécie possui um alto valor comercial, apreciado especialmente na Região Amazônica e por isso muito explorado pela pesca na Amazônia desde o século XIX (MENEZES et al., 2008). Além disso, tem grande destaque na piscicultura continental em todo o Brasil, e é a principal espécie nativa cultivada no país (LOBO et al. 2015).

O interesse se dá devido à espécie apresentar ótimas características e dentre elas estão: qualidade da sua carne, crescimento rápido, especialmente durante a fase jovem, podendo em um ano atingir tamanho comercial em cativeiro, além disso, apresenta rusticidade, excelente adaptação fisiológica e anatômica aos ambientes com baixa concentração de oxigênio, tem hábito gregário e pode ser cultivado em altas densidades (HANCZ, 1993; VILLACORTA-CORREA, 1999). Todas essas características favorecem a sua exploração em sistemas intensivos.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO-LIMA C. A. R. M.; GOULDING, M. **Os frutos do tambaqui: ecologia, conservação e cultivo na Amazônia**. Sociedade Civil Mamirauá; Brasília: CNPq., 1998, 186 pp.
- BALDISSEROTTO, B. e GOMES, L. C. Organizadores; **Espécies Nativas Piscicultura no Brasil**. Santa Maria: editora. UFSM, 2005 1 ed., p. 175, 184.
- 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.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Embrapa Amazônia Oriental. **Sistema de Produção do Açaí**. Vol. 4 - 2ª Edição Dez./2006.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).
- 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.
- BUCKUP, P. A.; MENEZES, N. A.; GHAZZI, M. S. A. **Catálogo das espécies de peixes de água doce do Brasil**, v. 1, 2007. Rio de Janeiro: Museu Nacional.
- CLAUDINO, Antônio. **Preparação de carvão ativado a parti de turma e sua utilização na remoção de poluentes**. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2003. Disponível em: <http://www2.enq.ufsc.br/teses/mt01.pdf>.> Acesso em: 20 de abril de 2018.
- CLARK, H. L. M. **Remoção de fenilalanina por adsorvente produzido a partir da torta prensada de grãos defeituosos de café**. 115 p. 2010. Dissertação em Ciência dos Alimentos. Faculdade de Farmácia, UFMG, Belo Horizonte, 2010.
- COELHO, E. R. C.; DI-BERNARDO, L. Remoção de atrazina e metabólitos pela filtração lenta com leito de areia e carvão ativado granular. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 3, p. 269-276, 2012.
- COLARES, C. J. G.; SANDRI, D. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.8, n.1, p. 172 – 185, 2013.
- COSTA, B.G.B.; SOARES, T.M.; TORRES, R.F.; LACERDA, L.D. - **Mercury distribution in a mangrove tidal creek affected by intensive shrimp farming**. Bull. Environ. Contam. Toxicol, nº 90, pp. 537 – 541, 2013.
- COSTA, L.D.S. **Utilização do caroço de açaí como leito filtrante no tratamento de água de abastecimento e residuária**. 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto de Tecnologia. Universidade Federal do Pará. Belém. 2014.
- CUBAS, K.Guedes. **Avaliação do desempenho de carvões ativos usados na remoção de composto orgânicos de água naturais proveniente de cianobactérias e suas toxinas**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR. 2010.
- CUNHA, B.; SOUSA, M.; ALVES, R. **Utilização do caroço do açaí (Euterpe oleracea) como leito filtrante no tratamento de águas de abastecimento e residuárias**. XII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2014.

- 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. 47544757, 2008.
- FERNANDES, Kendra D'Abreu Neto. **Uso de carvão ativado de endocarpo de coco no tratamento de água**. Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2010.
- 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.
- GOULDING, M.; CARVALHO, M.L. Life history and management of the Tambaqui, (*Colossoma macropomum*, Characidae): An important Amazonian food fish. *Revista Brasileira Zoologia*, v.1: p.107-133. 1982.
- GOMES, L.L. **Adsorção como alternativa para dessulfurização da gasolina brasileira: estudo para remoção do benzotiofeno**. 2010. Monografia (Curso de graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2010.
- HANCZ, C. 1993. Performance of the Amazonian tambaqui, *Colossoma macropomum*, in pond polyculture. *Aquaculture*, 12:245-254.
- 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.
- IUPAC: União Internacional de Química Pura e Aplicada. **Reporting Physisoption data for gás/solid systems**, v.54, p.2201-2218, 1982.
- LETTERMAN, D. Water quality and treatment, A handbook of community water supplies, McGraw-Hill, 1999.
- LIMA, J.D.F.; DIAS; T.M.; YOSHIOKA, E.T.O.; SANTOS, E.F.; DUARTE, S.S.; BASTOS, A.M.; MONTAGNER, D.; Sistema Fechado Simples de Recirculação para Recria de Peixes ou Camarões de Água-Doce. **Comunicado técnico Embrapa** ISSN 1517-4077 Macapá, AP Maio, 2015.
- LOBO, F. P.; CINTRA, L. C.; VARELA, E. S.; ALVES, A. L.; VILLELA, L. C. V.; SILVA, N. M. A. da; PAIVA, S. R.; CAETANO, A. R. Novo genome assembly of the South American freshwater fish Tambaqui (*Colossoma macropomum* ). In: **PLANT & ANIMAL GENOME CONFERENCE**, 23.2015
- MATTHIENSEN, A.; QUADROS, M. **Gosto de Barro em Tambaquis: Problemas e Recomendações**. n.1 Boa vista: Embrapa Roraima/ MAPA, 2012. 21 p.
- MENEZES, J. T. B.; QUEIROZ, L. J.; DORIA, C. R. C.; MENEZES JR, J. B. "Avaliação espermática pós descongelamento em tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818)." *Acta Amazônica*, 38.2, 365-368, 2008.
- MESQUITA, A. L. **Estudos de processos de extração e caracterização de fibras do fruto do açaí (*Euterpe oleracea* MART.) da Amazônia para produção de ecopainel de partículas de média densidade (MDP)**. 2013, 149f. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal do Pará. Belém, 2013.
- 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.

MOHANTY, K.; DASB, D., BISWAS, M. N. Adsorption of phenol from aqueous solutions using activated carbons prepared from *Tectona grandis* sawdust by  $ZnCl_2$  activation. **Chemical Engineering Journal**, v. 115, p. 121–131, 2005.

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.177185, 2002.

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

REIS, B.O. et al. Produção de briquetes energéticos a partir de caroço de açaí. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, Campinas, 4p,2002.

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.

SILVA, P. J. D.; ALMEIDA, S. S. Estrutura ecológica de açazais 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.

TEXEIRA, Brito Leopoldo. *et al* **Compostagem: Lixo orgânico urbano e resíduo da agroindústria do açaí**. Embrapa Amazônia Oriental, Albras, 1. ed. Belém: Albras. 2006. 21-23 p.

VILLACORTA-CORREA, M. A.; e SAINT-PAUL, U. Structural indexes and sexual maturity of tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) (Characiformes: Characidae) in central Amazon, Brazil. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 59, 637-652, 1999.

YUYAMA, L. K. O.; et al. Caracterização físico-química do suco de açaí de *Euterpe precatoria* Mart. oriundo de diferentes ecossistemas amazônicos. **Acta Amaz.**, vol.41, n.4, p. 545-552. 2011.

YAGMUR, E.; OZMAK, M.; AKTAS, Z. 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.

**CAPÍTULO II- CARVÃO ATIVADO DO CAROÇO DO AÇAÍ UTILIZADO COMO  
MÍDIA FILTRANTE NA RECRIA DO TAMBAQUI**

## **CARVÃO ATIVADO DO CAROÇO DO AÇAÍ UTILIZADO COMO MÍDIA FILTRANTE NA RECRIA DO TAMBAQUI**

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência de diferentes proporções do carvão ativado do caroço de açaí (CACA) nos SRA e sua influencia na qualidade da água como também no desempenho zootécnico de juvenis de *Colossoma macropomum*. O experimento ocorreu de forma inteiramente casualizada, com quatro tratamentos e três repetições de acordo com os seguintes tratamentos: T1: 0% do CACA; T2: 50% CACA; T3: 75% CACA; T4: Somente filtro biológico (Grupo controle), durante 60 dias onde os peixes foram divididos a uma densidade de 100 ind./m<sup>3</sup> com peso médio inicial de 3,35 ± 0,60g. As coletas de água foram feitas em dois pontos: após a passagem pelo tanque de cultivo e depois da passagem pelo filtro. Apenas o peso médio animal apresentou diferença significativa entre os tratamentos. A maior parte dos parâmetros de qualidade da água avaliada no tanque de cultivo dos peixes esteve dentro do recomendado para a espécie. Os filtros compostos por CACA foram mais eficientes na remoção de turbidez, no entanto para NAT e NO<sub>2</sub> essa eficiência foi maior nos tratamentos com maiores porcentagens. Além disso, constatou-se uma maior eficiência no processo de nitrificação para esses tratamentos. Sendo assim, a porcentagem de 75 da mídia alternativa mostra-se como uma opção para ser utilizada em SRA.

**Palavras-chave:** Qualidade da água; Filtragem biológica; Aquicultura

## **ACTIVATED CHARCOAL FROM AÇAÍ SEED USED AS FILTER MEDIA IN THE TAMBAQUI REARING**

**ABSTRACT:** The present study aimed to evaluate the efficiency of different proportions of activated charcoal from açaí seed (ACAS) in WRS and its influence on water quality, as well as on with zootechnical performance of tambaqui (*Colossoma macropomum*). The experiment occurred in a completely randomized way, with four treatments and three repetitions according to the following treatments: T1: 0% of ACAS; T2: 50% ACAS; T3: 75% ACAS; T4: Biological filter only (Control group). The ACAS used was characterized physically-chemically through moisture content, ash content, porosity, apparent specific mass and scanning electron microscopy (SEM) for structural analysis. The experiment lasted 60 days, where 1,200 tambaqui juveniles were used, divided at a density of 100 ind./m<sup>3</sup> with an average starting weight of 3.35 ± 0.60g. Water collections were made in the morning at two points: after passing through the cultivation tank and after passing through the filter. Animal performance data showed no significant differences between treatments. Most parameters of water quality evaluated in the fish culture tank were within the recommended for the species. The filters composed by ACAS, were more efficient in removing turbidity, however for TAN and NO<sub>2</sub> this efficiency was greater in treatments with higher percentages. It was found a greater efficiency in the nitrification process for these treatments. Therefore, 75 percent the alternative media is an option to be used in WRS.

**Keywords:** Water quality; Biological Filtration; Aquaculture

## 1 INTRODUÇÃO

A produção aquícola brasileira gerou em torno de 592.680 t de pescado no ano de 2018 (IBGE, 2018). O tambaqui seguiu como a segunda espécie de peixe mais cultivada no país, representando 14,60 % da produção nacional correspondendo aproximadamente a 102,5 mil toneladas produzidas. A soma da produção dos peixes redondos, incluindo os híbridos do tambaqui, pacu e pirapitinga, é de 41 mil toneladas, um volume que representa 5,57% da produção nacional (IBGE, 2018).

O tambaqui (*C. macropomum*) é a espécie nativa com maior interesse econômico para a aquicultura (KUBITZA, 2004). Esse interesse se dá devido à espécie apresentar ótimas características como: qualidade da sua carne; crescimento rápido, rusticidade, adaptação fisiológica aos ambientes de concentração moderada de oxigênio e suporta altas densidades de cultivo (HANCZ, 1993; VILLACORTA-CORREA, 1997; BALDISSEROTTO E GOMES, 2010).

O setor piscícola tem investido em tecnologias destinadas a melhorar a produção de tambaqui e tem gradualmente levado muitos piscicultores a mudar o cultivo do tambaqui dos sistemas semi-intensivos tradicionais para sistemas de produção mais intensivos (SILVA & FUJIMOTO, 2015).

No entanto, a intensificação da produção ocasiona um aumento na concentração de nutrientes, matéria orgânica e sólidos em suspensão (Queiroz et al. 2004) no meio aquático receptor o que se faz necessário o desenvolvimento de novas tecnologias que possam controlar e reduzir a poluição dos efluentes, como observado nos sistemas de recirculação aquícola (SRA) (LIMA et al. 2019).

Os SRA definem-se como sistemas em que a água após passar pelos tanques de produção segue para o tratamento (físico, químico e biológico) e após isso, retorna aos tanques de produção por bombeamento (ROSSI, 2014). Diferentes meios de tratamento de água podem ser apropriadas para manter os parâmetros de qualidade da água dentro de níveis aceitáveis neste sistema (LIMA et al. 2019), considerando-se as exigências biológica das espécies cultivadas.

Conforme Piedrahita (2005), nos filtros biológicos ocorre um processo primordial para o bom funcionamento de um sistema de recirculação, o qual consiste na oxidação dos compostos nitrogenados, transformando amônia (composto altamente tóxico) em nitrito e nitrato (composto menos tóxico). As bactérias que realizam esse processo, encontram-se fixadas nos substratos presentes no filtro biológico, sendo esses substratos os mais diversos

possíveis, como: carvão ativado (CA), cerâmica, manta acrílica (MINUZZI et al. 2017); areia, seixo e pedaços de bambu (Lima et al. 2019); brita, concha (Pedreira et al. 2009) e argila expandida (MARCHESI; SOUZA e LIMA, 2018).

O substrato a ser adotado em cada sistema de tratamento é algo bem particular. Encontra-se na literatura relações bem estabelecidas entre o meio filtrante e/ou substrato necessário ao tratamento do efluente aquícola (TIMMONS et al., 2002), contudo para matérias primas regionais, estes estudos são bem incipientes.

O caroço de açaí é um resíduo gerado, em grandes proporções, diariamente nos municípios paraenses e/ou regiões onde o fruto é processado. Considerando a sua elevada disponibilidade e efeito negativo no acúmulo de resíduos sólidos ao meio ambiente, o seu uso como carvão ativado em sistemas de filtragem, mostra-se como uma alternativa a sua destinação.

Devido o carvão ativado conter uma estrutura porosa e importantes propriedades adsorventes (HIGARASHI; KUNZ; MATTEI, 2008), o mesmo tem sido empregado para o tratamento de água que ocorre na forma de filtros por onde a água permeia (COSTA, 2014). Sua produção pode ocorrer através de diversas fontes de materiais carbonáceos, porém atualmente, muitos resíduos agrícolas tem sido transformado em carvão ativado, como por exemplo, provenientes de frutos amazônicos (castanha, açaí e cupuaçu) minimizando problemas ambientais (JUNIOR, 2010).

O carvão ativado do caroço do açaí já está sendo empregado como material precursor de filtros, demonstrando eficiência para a redução de alguns parâmetros como turbidez, ferro e coliformes totais para consumo humano (PEREIRA e RODRIGUES, 2013); DQO, DBO, cor aparente, turbidez e N-amoniaco no tratamento de efluentes (CUNHA, SOUZA e ALVES, 2014).

Diante disso, o objetivo deste estudo foi avaliar um sistema de recirculação aquícola utilizando diferentes porcentagens de carvão ativado do caroço do açaí como mídia filtrante e a sua influencia no desempenho zootécnico dos animais cultivados como também na qualidade da água durante a recria do tambaqui.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Aspecto Ético

Para realização deste estudo o projeto foi submetido ao Comitê de ética no Uso de Animais- CEUA, da Universidade Federal Rural da Amazônia- UFRA, protocolo 038/2018 com certificado de parecer favorável para sua execução.

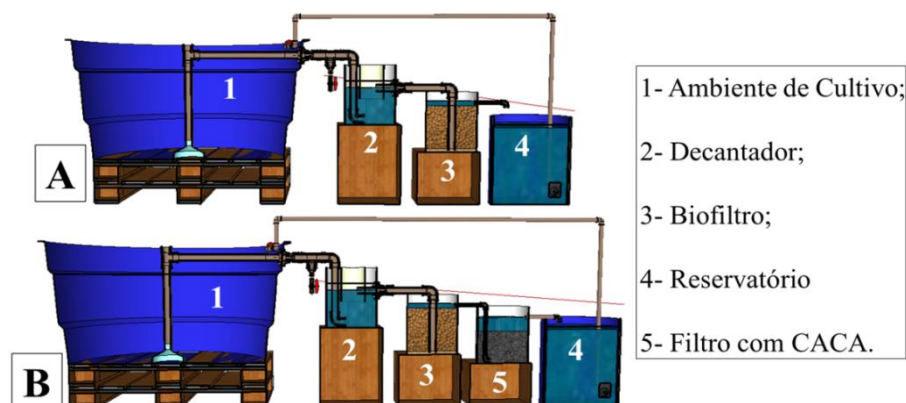
### 2.2 Local do Experimento

O experimento foi realizado na parte Indoor do Laboratório de Aquicultura Tropical (LaqTrop) localizado nas dependências Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), campus Belém/PA.

### 2.3 Unidades Experimentais: Caracterização e funcionamento

As unidades experimentais são constituídas por 5 componentes: ambiente de cultivo; decantador; filtro biológico; filtro com carvão ativado e reservatório de aeração. O fluxo da água ocorreu de forma unidirecional do sentido do ambiente de cultivo ao reservatório, passando por cada componente do sistema, em seguida retornando novamente ao ambiente de cultivo, caracterizando-o como um sistema fechado de recirculação (Figura 13).

**Figura 1-** Componentes das unidades experimentais: a) Sistema de recirculação controle; b) Sistema de recirculação com adição do filtro de carvão ativado.



Fonte: Acervo pessoal

O ambiente de cultivo dos organismos deu-se por uma caixa d'água plástica com volume útil de 1 m<sup>3</sup> (1.000 litros), abastecidas com água proveniente de poço artesiano e sua

drenagem por um tubo central de PVC de 40mm. O decantador, segundo componente do sistema, teve como principal função na separação e retirada das fezes e demais partículas orgânicas mais pesadas, sendo composto por um recipiente plástico de 20L. O filtro biológico foi construído em um balde de 20L, preenchido por areia e argila expandida com fluxo ascendente onde a água atravessava as camadas filtrantes, visando a retenção de sólidos e degradação da matéria orgânica. O filtro preenchido por diferentes porcentagens de CA, era composto por um balde de 15L. Por fim, o reservatório de oxigenação consistiu-se de um balde plástico com volume total de 60L, no qual teve aeração constante proveniente do compressor de ar descrito posteriormente. Para promover a reposição de água já tratada ao ambiente de cultivo dos peixes, utilizou-se uma bomba submersa com vazão máxima de 1.000l/h.

A aeração de todo do sistema provêm de um compressor de ar, modelo CJ 0327; trifásico; acionado eletricamente; 2 CV de potência e vazão de 252 m<sup>3</sup>/h com período funcional de 24 horas por dia. O meio de condução do ar deu-se por tubulações de 25 mm, onde nos tanques de cultivo essa tubulação foi fixada no fundo, nos filtros a saída do ar foi feita por mangueira de silicone (5mm) com pedra porosa na extremidade, e nos reservatórios se utilizou mangueira porosa.

## **2.4 Delineamento experimental**

### **2.4.1 Aquisição e caracterização física e química do carvão ativado do caroço do Açaí**

O carvão utilizado no experimento foi fornecido por uma empresa de beneficiamento do açaí presente no município de Castanhal-PA. O processo de fabricação do material foi realizado industrialmente, onde sua ativação foi de natureza física por meio do vapor de água e CO<sub>2</sub> em temperatura final de 850°C por 1h. Antes de ser utilizado no sistema experimental o carvão ativado foi caracterizado quimicamente (Teor de umidade e teor de cinzas) e fisicamente (Massa específica, porosidade e microscopia eletrônica de varredura).

#### *2.4.1.1 Teor de Umidade*

A determinação do teor de umidade foi realizada de acordo com a norma D 2867-09 (ASTM, 2014). Foram pesados de 5g de CA em béqueres de 50mL e colocados em estufa a 150°C por um período de três horas. Em seguida a esse tempo, as amostras foram retiradas e

colocadas em dessecadores até o tempo de resfriarem onde foram novamente pesadas e assim efetuando o cálculo do teor de umidade, conforme a Equação 1:

$$TU(\%) = (C - D) / (C - B) \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

TU = Teor de Umidade;

B = massa do béquer (g);

C = massa do béquer com a amostra original (g);

D = massa do béquer com a amostra seca (g).

#### 2.4.1.2 Teor de Cinzas

A determinação do teor de umidade foi realizada de acordo com a norma D 2866-9 (ASTM, 1994). Primeiramente, foram colocados 3 cadinhos na mufla por um período de 1 hora à 650°C, depois colocados em dessecadores e pesados em balança analítica após já estarem em temperatura ambiente.

Em seguida, 5g de CA foram secos em estufa à 150°C por 3 horas e resfriados para serem utilizados como amostra em cada cadinho e levados a mufla por 8 horas à 650°C. Após esse período, os cadinhos foram novamente colocados em dessecadores até atingirem a temperatura ambiente e serem pesados e assim efetuando o cálculo do teor de cinzas, conforme a Equação 2:

$$\text{Teor de cinzas}(\%) = (D - B) / (C - B) \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

B = massa do cadinho (g);

C = massa do cadinho com a amostra original (g);

D = massa do cadinho com as cinzas (g)

#### 2.4.1.3 Teste de Porosidade do Leito Filtrante (n)

Para a determinação da porosidade do leito filtrante foram utilizadas duas provetas de 250mL e 100mL cada uma. A proveta de 250mL foi preenchida com CA de caroços de açaí até a marca limite, a proveta de 100mL foi preenchida com água destilada. O recipiente contendo CA foi preenchido com água destilada até todo o material ficar imerso. O volume de



água que foi adicionado na proveta com CA é correspondente ao volume de vazios do leito filtrante, enquanto que o volume de CA na proveta equivale ao volume total da amostra. Para a determinação da porosidade foi realizado o seguinte cálculo:

$$N = V_v / V_t \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

Onde;

$n$  = Porosidade (%);

$V_t$  = Volume total (mL);

$V_v$  = Volume de vazios (mL).

#### 2.4.1.4 Massa Específica

A metodologia utilizada seguiu a NBR 12076 (ABNT, 1991). Inicialmente, a amostra, de massa suficiente para encher uma proveta de 100mL, foi seca em estufa na temperatura de 130°C por 3h, sendo a proveta previamente seca na mesma temperatura por 30 minutos. Após o resfriamento do CA e da proveta, foi anotada a massa da proveta. Em sequência, esse recipiente foi preenchido com CA seco até a marca de 100mL e pesado. O valor medido foi subtraído a massa da proveta para achar a massa do carvão. O fundo da proveta foi batido em uma superfície plana até o ponto em que não houvesse mais a compactação do material. Novamente, foi anotado o volume de carvão após a compactação para ser realizado o cálculo de densidade aparente por meio da Equação 4:

$$\rho_a = M_2 - M_1 / V \quad \text{Equação 4}$$

Onde;

$\rho_a$  = densidade aparente (g/mL ou g/cm<sup>3</sup>);

$M_1$  = massa da proveta (g);

$M_2$  = massa de CA somada a massa da proveta

$V$  = volume determinado após a compactação do carvão (mL ou cm<sup>3</sup>).

#### 2.4.1.5 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Para MEV, as amostras do carvão ativado foram fissuradas com intuito de mostrar a parte externa e interna da sua estrutura e em seguida foram colocadas em porta-amostra, usando-se fita adesiva dupla face e circundadas com cola de prata. Após a preparação das amostras, foi feita a deposição de ouro pelo método de “Sputtering”, utilizando-se de um equipamento Balzers SCD 050 Sputter Coater. A MEV foi realizada com um microscópio da marca VEGA 3 TESCAN operando a 10kV, onde foi possível observar sua análise estrutural interna e externa.

### 2.4.2 Dimensionamento e composição dos filtros

O sistema construído foi dimensionado de acordo com Timmons et al., (2002) de forma a cumprir sua função na situação mais crítica que se espera atingir sob o ponto de vista da qualidade da água, ou seja, o 60º dia de experimento quando há o maior aporte de matéria orgânica ao sistema sob a forma do fornecimento diário de ração.

No sistema experimental foi utilizado como base a oferta de 100g de ração por dia, sendo assim para o correto funcionamento do biofiltro foi necessário 10m<sup>2</sup> de área específica de mídias. Dessa forma, todos os biofiltros apresentaram 5m<sup>2</sup> de área específica correspondente à areia (1L) (Figura 2A) e 5m<sup>2</sup> de área específica correspondente a argila expandida (16,7 L) (Figura 2B) totalizando volume de 17,7 L. Além desses foram adicionadas diferentes proporções do CACA (Figura 2C).

**Figure 2-**Mídias filtrantes: A)Areia; B) Argila expandida; C) Carvão ativado do caroço do açaí – CACA.



Fonte: Acervo pessoal.

O volume de CA do caroço do açaí adicionado aos filtros ocorreu nas proporções de 0%, 25%, 50% e 75% do volume total do filtro biológico Quadro 1.

**Quadro 1-** Volumes dos filtros utilizados no experimento.

FILTROS	MÍDIAS			TOTAL (L)
	Areia (L)	Argila exp. (L)	C.A (L)	
<b>Filtro Controle 0% CACA</b>	1	16,7	-	17,7
<b>Filtro 25% CACA</b>	1	16,7	4,4	22,2
<b>Filtro 50% CACA</b>	1	16,7	8,8	26,5
<b>Filtro 75% CACA</b>	1	16,7	13,3	31,0

### 2.4.3 Tratamentos

Foram utilizados 1.200 juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*), (Figura 3) divididos a uma densidade de 100ind./m<sup>3</sup> com peso médio inicial de 3,35 ± 0,60g. O experimento foi dividido em quatro tratamentos onde: T1(Filtro 0% do CA); T2 (Filtro 25% do CA); T3 (Filtro 50% do CA); T3 (Filtro 75% do CA). Para cada um dos tratamentos foram adotadas três unidades experimentais (triplicata), organizados de forma randomizada.

**Figura 3**-Exemplar de juvenil de tambaqui utilizado no experimento.



**Fonte:** Acervo pessoal.

#### 2.4.4 Manejo do sistema

Inicialmente as UE foram abastecidas com água de poço e após isso a mesma passou por um processo de limpeza e desinfecção, onde foi adicionado cloro (3mg/l) para eliminar qualquer tipo de patógenos presentes no ambiente. Posteriormente foram necessárias aplicações de tiosulfato de sódio para a remoção do cloro residual. As bombas de recirculação foram ativadas e foi possível fazer ajustes de vazão e correção de possíveis vazamentos.

A limpeza dos decantadores das UE foi realizada semanalmente. As reposições de água devido às perdas ocasionadas por evaporação foram efetuadas durante todo o período do estudo.

##### 2.4.4.1 Maturação do filtro biológico

Para dar início ao processo de maturação do filtro biológico foi adicionado nitrito de sódio para estimular o crescimento de bactérias nitrificantes de acordo com Otoshi et al. (2011). Além disso, foi adicionado 9ml/L NH<sub>4</sub>NOH (amoníaco de farmácia 5,8%) para elevar a quantidade de Nitrogênio amoniacal total entre 3 e 5mg/L recomendado por De Long e Losordo (2012). Para o aumento da alcalinidade a 150 mg/L foi utilizado bicarbonato de

sódio, segundo Furtado et al. (2011) é necessário 0,2g/L de bicarbonato para aumentar a alcalinidade a 100mg/L.

#### 2.4.4.2 Manejo alimentar

Os organismos foram alimentados inicialmente cinco vezes ao dia (8h30; 10h30; 12h30; 14;30; 17;30) durante seis dias da semana. Foi utilizada ração extrusada comercial para peixes onívoros, sendo a ração de 1,0mm (40% PB) até o 23º dia, do 24º ao 37º a ração de 1,7mm (40% PB) e do 38º ao 60º dia foi utilizada a ração 2-3mm. Os valores nutricionais referentes às rações utilizadas durante o período experimental estão na tabela 2.

**Tabela 1**-Valores nutricionais das rações utilizadas no experimento.

Compostos	Níveis de garantia kg/ração		
	Ração 1mm	Ração 1,7mm	Ração 2-3mm
<b>Umidade (máx.)</b>	100g	100g	100g
<b>Proteína Bruta (mín.)</b>	450g	400g	400g
<b>Extrato Etéreo (mín.)</b>	80g	70g	80g
<b>Fibra Bruta (máx.)</b>	30g	30g	60g
<b>Matéria Mineral (máx.)</b>	160g	120g	140g
<b>Cálcio (máx.)</b>	30g	30g	35g
<b>Fósforo (mín.)</b>	14mg	6000mg	6000mg

Fonte: Modificada do fabricante.

A taxa de alimentação (%biomassa estocada/ caixa d'água) diminuiu conforme os organismos cresciam, sendo que os ajustes foram feitos a cada biometria. A quantidade de ração consumida durante as alimentações eram registradas e quando os organismos consumiam parcialmente a alimentação o excedente era pesado para obtenção dos valores reais.

## 2.5 Mensuração de Parâmetros

Os dados coletados durante o período experimental, possuem duas naturezas: Os dados zootécnicos, nos quais foram obtido por meio das biometrias e os dados físico-químicos da água, oriundos da aferição dos parâmetros de água.

### 2.5.1 Biometria

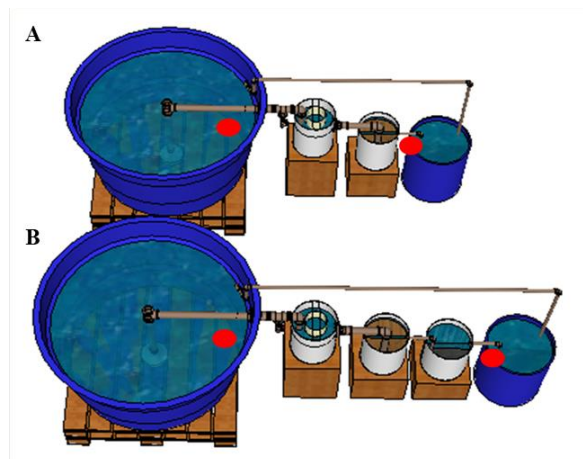
Foram feitas 4 biometrias durante todo experimento, onde na primeira e última foram pesados e medidos todos os organismos, já nas intermediárias uma amostragem de 20% dos organismos estocados.

Antes de todas as biometrias os peixes permaneceram em jejum por 15 horas para o esvaziamento do trato digestório. Os animais foram manipulados com solução salina na concentração de 5kg/m<sup>3</sup> para diminuir possíveis lesões e estresse causados pelo manejo. Os peixes foram pesados em balança analítica em um recipiente com água para se obter o peso total e medidos por um ictímetro. Ao final das biometrias os peixes foram devolvidos aos tanques.

### 2.5.2 Coleta e análise dos parâmetros físico-químicos da água

As coletas de água foram realizadas duas vezes por semana, no período da manhã, em dois pontos de cada UE: Tanque de cultivo (P1) e saída do filtro de CA (P2) (Figura 4A) e no tratamento controle na saída do filtro biológico (P2) (Figura 4B).

**Figura 4** - Pontos de coleta de água nas UE: A) Tratamento controle; B) Tratamento com as diferentes porcentagens do CACA.



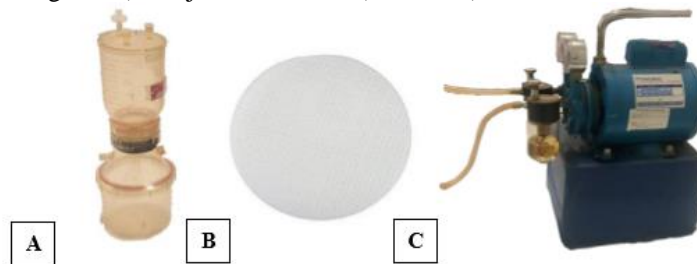
**Fonte:** Elaborado pelo autor.

Os seguintes parâmetros foram avaliados: Temperatura; pH; oxigênio dissolvido; condutividade elétrica; turbidez; sólidos dissolvidos e nitrato por meio de uma sonda multiparametros Hannah® (HI9829). Os sólidos suspensos e a cor foram medidos no fotocolorímetro HACH® DR/890.

Para os compostos nitrogenados (NAT e NO<sub>2</sub>), fósforo total e alcalinidade a água coletada foi armazenada em garrafa PET de 250 ml, tratada com ácido clorídrico (10% HCl),

para desinfecção, onde cada garrafa foi etiquetada com o período e o local da coleta. As análises desses parâmetros foram feitas conforme APHA (1998). Para a análise dos compostos nitrogenados (NAT e NO<sub>2</sub>) das amostras de água foram alocadas em um conjunto filtrante (Figura 5A) e filtradas por filtro de microfibras de vidro AP-40 (Figura 5B), com o auxílio de uma bomba a vácuo (Figura 5C). Após esse processo, foram adicionados os reagentes as amostras e em seguida leu-se os valores em um espectrofotômetro HACH DR/2010.

**Figura 5**-Equipamentos de Filtragem: A) Conjunto filtrante; B) Filtro; C) Bomba a vácuo.



**Fonte:** Acervo Pessoal.

### 2.5.3 Indicadores de desempenho zootécnico

Os dados de peso (g), comprimento (cm) bem como a quantidade de ração administrada entre biometrias, e durante todo o experimento, foram para análise do desempenho produtivo relacionados com a dieta animal (ração)

O peso médio dos organismos cultivados foi calculado por meio da seguinte fórmula:

$$P_{\text{médio}} = \frac{\sum \text{peso}}{n_{\text{peixes}}}$$

Onde, “ $\sum$ peso” é a soma do peso dos peixes e “ $n_{\text{peixes}}$ ” a quantidade de peixes da biometria.

Para calcular o ganho de peso foi utilizada a seguinte fórmula:

$$GP = P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}$$

Onde, “ $P_f$ ”: peso final (g) e “ $P_i$ ”: peso inicial (g).

O ganho de biomassa média foi calculado por meio da seguinte fórmula

$$GB_{\text{médio}} = \frac{\text{Biomassa total (g/m}^3\text{)}}{n_{\text{peixes}}}$$

Onde, “ $n_{\text{peixes}}$ ” é o número ou quantidade de peixes da biometria.

Para o cálculo de consumo médio individual de ração, foi utilizada a seguinte fórmula:

$$\text{CMDI} = \text{Qrdia} / \text{Np}$$

Onde: CMDI= Consumo médio individual de ração (g); Qrdia= quantidade de ração consumida por dia (g); Np= Número de peixes.

O consumo de ração no final do experimento, foi calculado pela seguinte

$$\text{fórmula: } \text{CTR} = \sum(\text{CMDI})$$

Onde: CTR= Consumo total de ração no fim do experimento; CMDI= Consumo médio individual de ração.

A biomassa real de ração ofertada, foi calculada pela seguinte fórmula:

$$\text{BrRO} = ((\text{BiRO} * \text{QrRO}) / \text{QiRO}) * 100$$

Onde: BrRO= Biomassa real de ração ofertada; BiRO= Biomassa idealizada de ração a se ofertar; QrRO= Quantidade real de ração ofertada; QiRO= Quantidade idealizada de ração a se ofertar.

A taxa de Conversão Alimentar Aparente (CAA) foi calculada por meio da seguinte fórmula:

$$\text{CAA} = \frac{\text{Quantidade de ração (g)}}{\text{Ganho de Peso (g)}}$$

A taxa de sobrevivência foi expressa em termos de porcentagem, através da seguinte

$$\text{fórmula: } \text{TS} = (\text{NFp} / \text{NIp}) * 100$$

Onde: TS= Taxa de sobrevivência; NFp= Número final de peixes; NIp= Número inicial de peixes.

## 2.6 Análise de dados

A análises estatísticas foram realizadas no programa PAST<sup>®</sup>. O grau de significância usado em todos os teste foi  $\alpha = 0,05$ . Os dados de desempenho zootécnico e de qualidade da água foram submetidos ao teste de homogeneidade de Levene e o teste de normalidade de Shapiro-Wilk para a verificação dos pressupostos para o uso dos testes estatísticos. Quando os dados apresentavam distribuição normal foi usada à análise de variância (ANOVA) e quando os dados apresentavam distribuição não normal, foi usado o teste Kruskal Wallis seguidos do teste de Tukey para verificar a diferença entre os tratamentos.

Para os dados de qualidade da água entre os pontos de coleta por tratamento foi aplicado o teste *t student* para os dados normais e o teste Wilconxon para os dados não normais.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

**Tabela 1**-Caracterização físico-química do CACA.

Nº de ensaios	Teor de Umidade (%)	Teor de cinzas (%)	Porosidade (%)	Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
1	6,74	11,40	53,6	0,4253
2	6,70	11,20	52,8	0,421
Média	6,72	11,30	53,2	0,4231
DP	0,028	0,10	0,566	0,002

O teor de umidade do CACA apresentou valor médio 6,72%. Este valor foi superior aos encontrados por Cruz Junior (2010) (5,1%) e Sousa (2019) (4,4 a 5,1%) ao caracterizar carvões ativados quimicamente do caroço de açaí. No entanto, de acordo com ABNT – EB 2133/1991 um bom carvão ativado não pode exceder mais que 8% de umidade, neste sentido, o carvão ativado utilizado esteve dentro desta faixa recomendada.

A porcentagem média de cinzas também foi superior aos encontrados por Sousa (2019) (5,2 a 6,08%) e Cruz Junior (2010) em carvões ativados do caroço de açaí, assim como Claudino (2003) que obteve teor de cinzas de 7,1% no carvão ativado comercial. De acordo com Loureiro (2012) o teor de cinzas é um indicador da qualidade do CA e em geral o teor de cinzas nos CA comerciais é de até 15%. Altos teores de cinzas podem contaminar e influenciar o pH da água filtrada.

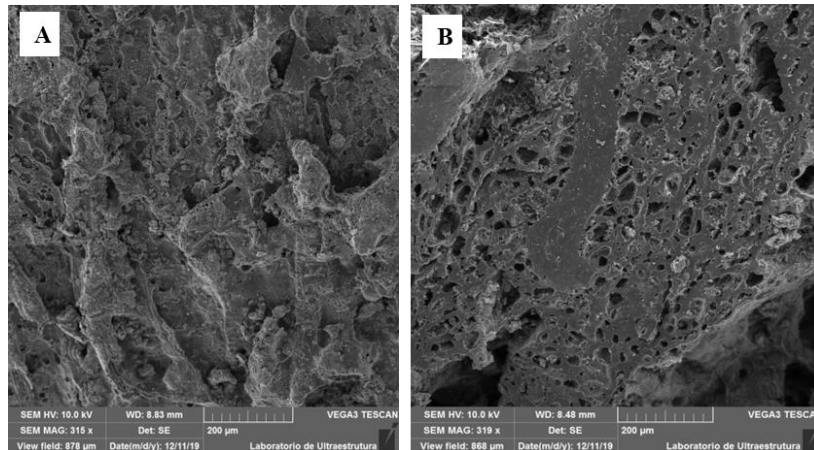
Em média a densidade aparente encontrada no CACA produzido foi de 0,42g/cm<sup>3</sup>, valores estes semelhantes aos encontrados por Sousa (2019), nos quais variaram entre 0,41 a 0,44 g/cm<sup>3</sup>. Fernandes (2008) obteve em seu trabalho uma densidade aparente de 0,50 g/cm<sup>2</sup> e Loureiro (2012) 0,59 g/cm<sup>2</sup> utilizando respectivamente como matéria prima endocarpo de coco da baía e casca de coco comercial. A ABNT – MB 3413/91 recomenda para a densidade aparente valores entre 0,35 a 0,75 g/cm<sup>3</sup>.

A porosidade média obtida entre o volume de vazios e o volume do leito filtrante foi de 53,2%. Esse resultado foi semelhante ao encontrado por Pinto, Silva e Saraiva (2012) (53,5%) ao caracterizar o carvão ativado do caroço do buriti.

Os resultados da análise em MEV podem ser observados na Figura 2. Por meio desta análise foi possível verificar a estrutura externa do carvão (Figura 2A), assim como a sua estrutura interna, onde é bem visível a presença de poros de tamanhos variados (Figura 2B). É por meio desses poros que o carvão ativado realiza o processo de adsorção.



**Figura 5-** Foto micrografia eletrônica do carvão ativado do caroço do açaí: A) Estrutura externa; B) Estrutura interna.



Fonte: Acervo pessoal

### 3.1 Desempenho Zootécnico

Ao final do experimento, foram contabilizados 1.158 exemplares de tambaqui, onde os valores médios de comprimento total variaram 6,5 a 19 cm e o peso de 7,89 a 107,09g.

Os dados referentes ao desempenho zootécnico dos organismos cultivados no período experimental demonstram a diferença significativa ( $p < 0,05$ ) no peso médio final e quantidade média de ração ofertada (Tabela 2).

**Tabela 2-** Valores (média  $\pm$  desvio padrão) dos indicadores de desempenho zootécnico nos diferentes tratamentos.

Parâmetros	Tratamentos			
	T0	T25	T50	T75
<b>Peso Médio (g)**</b>	43,41 $\pm$ 9,05 <sup>a</sup>	47,67 $\pm$ 6,83 <sup>a</sup>	51,16 $\pm$ 5,35 <sup>a</sup>	51,5 $\pm$ 1,66 <sup>a</sup>
<b>Biomassa Total (g)*</b>	4128,35 $\pm$ 1160,53 <sup>a</sup>	4736,81 $\pm$ 695,82 <sup>a</sup>	4868,99 $\pm$ 882,11 <sup>a</sup>	5046,90 $\pm$ 140,71 <sup>a</sup>
<b>Ganho de biomassa (g)*</b>	3883,69 $\pm$ 1085 <sup>a</sup>	4376,81 $\pm$ 543,1 <sup>a</sup>	4493,65 $\pm$ 724,4 <sup>a</sup>	4686,24 $\pm$ 75,05 <sup>a</sup>
<b>Ganho de peso médio (g)*</b>	40,96 $\pm$ 8,29 <sup>a</sup>	44,07 $\pm$ 5,29 <sup>a</sup>	47,41 $\pm$ 4,00 <sup>a</sup>	47,9 $\pm$ 1,29 <sup>a</sup>
<b>Conversão Alimentar Aparente*</b>	0,99 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	0,97 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	1,02 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>	0,98 $\pm$ 0,14 <sup>a</sup>
<b>Consumo médio individual de ração (g/ind.)*</b>	40,58 $\pm$ 10,69 <sup>a</sup>	42,99 $\pm$ 7,54 <sup>a</sup>	48,74 $\pm$ 10,55 <sup>a</sup>	45,99 $\pm$ 6,18 <sup>a</sup>
<b>Quantidade média de ração ofertada (g/dia)*</b>	63,3 $\pm$ 46,20 <sup>a</sup>	71,29 $\pm$ 45,13 <sup>a</sup>	76,04 $\pm$ 47,44 <sup>b</sup>	75,23 $\pm$ 48,14 <sup>b</sup>
<b>Sobrevivência (%)*</b>	0,94 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	0,99 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	0,95 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	0,98 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>

Nota: \* Anova ( $P < 0,05$ ); \*\* Kruskal-Wallis ( $P < 0,05$ );

Souza et al., (2018) ao cultivar tambaqui com peso médio inicial de 3,66g em sistemas de recirculação por 45 dias com densidade superior a do presente estudo obtiveram um ganho de peso de 11,97g. Comparativamente a outros sistemas de cultivo, Pereira júnior et al., (2013), obtiveram um ganho de peso para a espécie de 24,80g em densidades próximas a este estudo, em sistemas de cultivo com baixa renovação de água durante 75 dias. Já em sistemas

em tanques rede, Brandão et al. (2004), utilizaram juvenis de peso médio de  $2,47 \pm 0,05$ g em densidades superiores e obtiveram um ganho de peso de 40,57g em 60 dias.

A Conversão Alimentar Aparente (CAA) encontrada neste estudo estiveram dentro do recomendado para os peixes, pois, Da Silva e Fujimoto (2015) explicam que valores de conversão alimentar abaixo ou próximos a 1 indicam que os organismos utilizaram com eficiência a ração oferecida para incremento de massa.

. Estes valores de CAA foram similares ao encontrado por Brandão et al. (2004) (1,27) e Santos, Andrade e Sousa, (2014) (1,05 a 1,15) e melhores aos encontrados por Souza et al., (2018) para espécie em sistema fechado (1,36). No entanto, os resultados encontrados por Costa (2013), para recria de tambaqui em tanques escavados, apresentaram CAA melhores que as observadas no presente estudo (0,58 a 0,67). O motivo pela melhor CA de Costa (2013), consiste na alta produção primária dos viveiros, a qual serve de alimento para juvenis de tambaqui (CAVERO et al., 2009), já que em sistemas de recirculação a produtividade primária é mínima (CORSO, 2010).

A sobrevivência média obtida durante a recria (em torno de 97%) é superior à obtida para o tambaqui nos sistemas de recria em viveiro (75%) e em tanque rede (84%) (Souza et al., 1998; Brandão et al., 2004) e inferior a encontrada por Lima et al.,(2019) em sistema de recirculação (100%).

### **3.2 Qualidade da água**

As variáveis Oxigênio Dissolvido (OD), temperatura ( $^{\circ}$ C), sólidos totais suspensos, cor aparente, amônia total (NAT), nitrito ( $\text{NO}_2$ ) e fósforo não apresentaram diferença significativa ( $p > 0,05$ ) entre os ambientes de cultivo (Ponto 1) dos diferentes tratamentos (Tabela3).

**Tabela 3-** Valores máximos, mínimos e de mediana dos parâmetros físico-químicos avaliados entre tratamentos no Tanque de cultivo (Ponto 1).

Parâmetro	Tratamentos											
	0%			25%			50%			75%		
	Máx.	Med.	Mín.	Máx.	Med.	Mín.	Máx.	Med.	Mín.	Máx.	Med.	Mín.
<b>pH**</b>	8,8	8,24±0,27 <sup>a</sup>	7,1	8,5	8,09±0,34 <sup>b</sup>	6,9	8,7	8,11±0,32 <sup>b</sup>	7,1	8,5	8,11±0,34 <sup>b</sup>	7,0
<b>OD (mg/L)*</b>	8,1	6,15±0,78 <sup>a</sup>	4,4	8,1	5,9±0,88 <sup>a</sup>	4,0	7,5	5,64±0,86 <sup>a</sup>	4,0	7,7	6,32±0,79 <sup>a</sup>	4,3
<b>STD (mg/L)**</b>	491,0	357±87,46 <sup>a</sup>	166,0	519,0	372±98,84 <sup>a</sup>	126,0	592,0	396±99,35 <sup>b</sup>	217,0	591,0	390±109,07 <sup>ab</sup>	180,0
<b>Temp. (°C)*</b>	28,74	27,35±0,56 <sup>a</sup>	26,17	29,37	27,27±0,67 <sup>a</sup>	25,92	28,72	27,28±0,57 <sup>a</sup>	26,10	28,87	27,33±0,57 <sup>a</sup>	26,15
<b>STS (mg/L)**</b>	25,0	10±6,11 <sup>a</sup>	2,0	26,0	11±5,10 <sup>a</sup>	1,0	27,0	11±5,91 <sup>a</sup>	1,0	31,0	11±5,81 <sup>a</sup>	3,0
<b>C.E (µs/cm<sup>-1</sup>)**</b>	981,0	714±176,4 <sup>a</sup>	333,0	1038,0	744±191,98 <sup>ab</sup>	372,0	1157,0	790±224,81 <sup>b</sup>	428,0	1183,0	781±227,34 <sup>ab</sup>	221,0
<b>Turb. (FNU)**</b>	20,5	3,6±4,53 <sup>a</sup>	0,0	17,5	3±4,7 <sup>b</sup>	0,0	25,4	4,1±6,01 <sup>a</sup>	0,0	36,2	6,95±7,1 <sup>c</sup>	0,0
<b>Cor (uC)*</b>	378,0	168±93,61 <sup>a</sup>	22,0	334,0	200±86,17 <sup>a</sup>	19,0	360,0	194±80,80 <sup>a</sup>	18,0	346,0	175±76,59 <sup>a</sup>	28,0
<b>NAT (mg/L)**</b>	1,64	0,6±0,32 <sup>a</sup>	0,17	1,94	0,66±0,33 <sup>a</sup>	0,10	2,57	0,68±0,47 <sup>a</sup>	0,16	1,50	0,68±0,17 <sup>a</sup>	0,17
<b>NO2 (mg/L)**</b>	0,94	0,89±0,19 <sup>a</sup>	0,19	0,94	0,89±0,19 <sup>a</sup>	0,26	1,42	0,89±0,19 <sup>a</sup>	0,20	1,21	0,88±0,17 <sup>a</sup>	0,26
<b>NO3 (mg/L)**</b>	61,2	26±19,02 <sup>a</sup>	1,1	75,3	29,8±22,99 <sup>ab</sup>	1,3	86,4	34,9±24,70 <sup>ab</sup>	2,8	82,3	38,5±23,82 <sup>b</sup>	3,6
<b>P total (mg/L)**</b>	8,8	6,18±2,44 <sup>a</sup>	0,2	8,0	6,76±1,87 <sup>a</sup>	1,3	7,9	6,73±1,87 <sup>a</sup>	1,1	7,8	6,35±1,69 <sup>a</sup>	1,3
<b>Alcal. (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)*</b>	254,0	184±45,33 <sup>a</sup>	15,5	236,0	158±50,59 <sup>b</sup>	27,5	238,0	166±52,52 <sup>ab</sup>	8,8	294,0	164±56,5 <sup>ab</sup>	27,3

Nota <sup>a-c</sup> :medianas seguidas por letras minúsculas diferentes nas linhas, diferem estatisticamente entre si (\* ANOVA (P=0,05); \*\* Kruskalwallis (P=0,05)).

Os valores de pH foram significativamente ( $p < 0,05$ ) maiores no tanque pertencente ao T0%, no entanto todas as medianas encontradas, apresentaram valores superiores a faixa de pH considerada boa para a espécie em cultivo que é entre 4,0 e 6,5 (ARIDE et al., 2004). Esses valores mais altos de pH, estão intimamente relacionados com as correções de alcalinidade/pH por meio da adição do bicarbonato de sódio nos reservatórios de aeração durante o experimento. Segundo Izel et al. (2014), o tambaqui apresenta bom desenvolvimento em águas com alcalinidade e dureza superior que 30 mg/L, o que ocorreu nesse trabalho.

A mediana do Oxigênio Dissolvido (OD), entre os tratamentos estiveram dentro do limite recomendado para o cultivo do animal (BOYD, 1982), ainda quando apresentaram valores mínimos durante o período experimental. A espécie cultivada demonstra boa resistência e tolera níveis baixos de OD entre 3,0 até 1,0 mg/L (KOHLA et al., 1992; VAL et al., 1998).

A temperatura, entre os tratamentos estiveram dentro da faixa recomendada para o bom desenvolvimento do tambaqui em sistemas de cultivo, que segundo Izel et al. (2014) é entre 27 e 30 °C, já que a espécie que cresce lentamente em temperatura abaixo de 22°C. (PROENÇA e BITTENCOURT, 1994)

Os resultados da condutividade elétrica também apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os tanques de cultivo, com os valores mais elevados nos tratamentos de 50% e 75%. No entanto, desde o início do experimento os valores já se encontravam elevados em todos os tratamentos, o que pode estar associado ao manejo profilático com aplicação de sal à água do cultivo durante as biometrias, além do acúmulo de íons oriundos da mineralização dos resíduos de ração, das excretas dos peixes no ambiente ao decorrer do tempo de cultivo (ITUASSU et al. 2004). Conforme Silva et al. (2013), os valores adequados de CE para o cultivo do tambaqui é entre 60 a 500  $\mu\text{S cm}$ , valores estes que ocorreram somente no início experimento.

Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) apresentaram comportamentos semelhantes a CE, visto que os mesmos se correlacionam, pois quanto mais sólidos dissolvidos são adicionados, maior é a condutividade elétrica da água (ARAUJO, 2006). Nesse sentido, os valores medianos encontrados nos diferentes tratamentos, estiveram acima da faixa de conforto para o cultivo de peixes de água doce que variam entre 5 e 200 mg/L (WEDEMEYER, 1997).

Embora para o parâmetro da turbidez os menores valores ( $p < 0,05$ ) sejam para o tratamento de 50% e os maiores para o de 75%, todos os tratamentos estão dentro do valor

ideal de turbidez para o cultivo de organismos aquáticos é de até 100 NTU (CONAMA, 2005). Este parâmetro pode ser influenciado tanto pela produtividade primária como pela presença de partículas não biológicas na coluna d'água. Sistemas In-door, onde não há fonte de luz dedicada à manutenção de produtividade primária observam-se baixos valores deste parâmetro, o que é característico de sistemas de recirculação (CORSO, 2010).

No que se refere à amônia total, Timmons (2002) estabelece como ideal concentrações inferiores a 3,0 mg/L para o cultivo de peixes em sistemas de recirculação. De acordo com Chagas et al. (2003), concentrações muito elevadas de amônia podem ser prejudiciais para o desempenho do crescimento dos peixes. Os valores médios observados foram de 0,60 a 0,68 mg/L, que se encontra na zona de conforto dos peixes (BOYD e TUCKER, 1998). Lima et al. (2019) encontraram valores de amônia mais altos (1,3-2,2mg/L) que os do presente trabalho, em experiência com tambaqui em sistema de recirculação, utilizando uma biomassa menor. Neste sentido, de forma comparativa, a remoção/transformação deste composto nitrogenado mostrou-se favorável, apresentando valores abaixo que os preconizados como tóxicos aos organismos, bem como mais eficientes que sistemas de cultivo em sistema de recirculação com menor biomassa.

Os valores de nitrito variaram de 0,20 a 1,42 mg/L e ficaram abaixo dos valores críticos ( $1,82 \pm 0,98$  mg/L) previamente descritos para a espécie (COSTA et al., 2004). Quanto ao nitrato, o valor máximo encontrado entre os tanques de cultivo foi de 86,4 mg/L, no entanto apesar de não haver relatos de valores críticos para espécie, Ebeling et al. (1995) argumentam que estudos têm mostrado que as espécies aquáticas podem tolerar valores superiores a 100 mg/L em sistemas de produção.

O nitrato é considerado uma substância com pequeno poder tóxico por parte de pesquisadores, mas por ser o produto final da nitrificação, pode acumular-se em grandes quantidades, principalmente em sistemas fechados de cultivo (THURSTON et al. 1978)

Ao avaliar aos parâmetros físico-químicos entre a passagem da água do ambiente de cultivo pelo filtro, observou que o pH, os sólidos totais dissolvidos, temperatura condutividade elétrica e alcalinidade não sofreram alterações significativas ( $p > 0,05$ ) após a filtragem (Tabela 4).

**Tabela 4**-Mediana dos parâmetros físico-químicos avaliados no Tanque e Filtro nos diferentes tratamentos.

Parâmetro	TRATAMENTOS							
	0%		25%		50%		75%	
	T	F	T	F	T	F	T	F
<b>pH**</b>	8,24 <sup>a</sup>	8,23 <sup>a</sup>	8,09 <sup>a</sup>	8,05 <sup>a</sup>	8,11 <sup>a</sup>	8,03 <sup>a</sup>	8,11 <sup>a</sup>	8,13 <sup>a</sup>
<b>OD (mg/L)*</b>	6,15 <sup>a</sup>	3,66 <sup>b</sup>	5,90 <sup>a</sup>	3,60 <sup>b</sup>	5,64 <sup>a</sup>	3,75 <sup>b</sup>	6,32 <sup>a</sup>	3,87 <sup>b</sup>
<b>STD (mg/L)**</b>	357 <sup>a</sup>	356 <sup>a</sup>	372 <sup>a</sup>	373 <sup>a</sup>	396 <sup>a</sup>	396 <sup>a</sup>	390 <sup>a</sup>	387 <sup>a</sup>
<b>Temp. (°C)*</b>	27,35 <sup>a</sup>	27,44 <sup>b</sup>	27,27 <sup>a</sup>	27,31 <sup>a</sup>	27,28 <sup>a</sup>	27,32 <sup>a</sup>	27,33 <sup>a</sup>	27,27 <sup>a</sup>
<b>STS (mg/L)**</b>	10 <sup>a</sup>	11 <sup>b</sup>	11 <sup>a</sup>	10 <sup>b</sup>	11 <sup>a</sup>	10 <sup>b</sup>	11 <sup>a</sup>	10 <sup>b</sup>
<b>C.E (µs/cm<sup>-1</sup>)**</b>	714 <sup>a</sup>	712 <sup>a</sup>	744 <sup>a</sup>	745 <sup>a</sup>	790 <sup>a</sup>	791 <sup>a</sup>	781 <sup>a</sup>	775 <sup>a</sup>
<b>Turb. (FNU)*</b>	3,6 <sup>a</sup>	1,50 <sup>b</sup>	3,00 <sup>a</sup>	0,40 <sup>b</sup>	4,10 <sup>a</sup>	0,60 <sup>b</sup>	6,95 <sup>a</sup>	1,00 <sup>b</sup>
<b>Cor (uC)**</b>	168 <sup>a</sup>	179 <sup>b</sup>	200 <sup>a</sup>	189 <sup>b</sup>	194 <sup>a</sup>	176 <sup>b</sup>	175 <sup>a</sup>	182 <sup>b</sup>
<b>NAT (mg/L)**</b>	0,60 <sup>a</sup>	0,65 <sup>a</sup>	0,66 <sup>a</sup>	0,63 <sup>a</sup>	0,68 <sup>a</sup>	0,55 <sup>b</sup>	0,68 <sup>a</sup>	0,53 <sup>b</sup>
<b>NO2 (mg/L)**</b>	0,90 <sup>a</sup>	0,88 <sup>b</sup>	0,90 <sup>a</sup>	0,86 <sup>b</sup>	0,90 <sup>a</sup>	0,69 <sup>b</sup>	0,88 <sup>a</sup>	0,53 <sup>b</sup>
<b>NO3 (mg/L)**</b>	26 <sup>a</sup>	26,9 <sup>b</sup>	29,8 <sup>a</sup>	27,9 <sup>b</sup>	34,9 <sup>a</sup>	33,0 <sup>b</sup>	38,5 <sup>a</sup>	41,6 <sup>b</sup>
<b>P total (mg/L)**</b>	6,18 <sup>a</sup>	5,84 <sup>b</sup>	6,76 <sup>a</sup>	6,54 <sup>a</sup>	6,73 <sup>a</sup>	6,63 <sup>a</sup>	6,35 <sup>a</sup>	6,02 <sup>a</sup>
<b>Alcal. (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)*</b>	184 <sup>a</sup>	192 <sup>b</sup>	158 <sup>a</sup>	146 <sup>a</sup>	166 <sup>a</sup>	162 <sup>a</sup>	164 <sup>a</sup>	168 <sup>a</sup>

Nota <sup>a-c</sup>: medianas seguidas por letras minúsculas diferentes nas linhas, diferem estatisticamente entre si \* Test *t student* (P=0,05); \*\* Wilcoxon (P=0,05)

Os índices de Oxigênio Dissolvido foram significativos ( $p < 0,05$ ) entre todos os tratamentos, onde nota-se uma diminuição nos valores de mediana deste parâmetro ao passar pelo filtro. Essa diminuição está relacionada ao maior consumo de oxigênio no filtro por parte de microorganismos decompositores (BRANCO, 1986), além da oxidação dos compostos nitrogenados (KUBTIZA, 2006).

Quanto ao STS, seus índices foram significativos ( $p < 0,05$ ) entre os pontos de coleta, no entanto somente para os tratamentos com carvão ativado houve a retenção do STS após a passagem pelo filtro. A turbidez foi um parâmetro que apresentou diminuição significativa ( $p < 0,05$ ) em seus valores de mediana após a passagem por todos os tratamentos, contudo a eficiência de remoção dos filtros com carvão foi superior (T25%=86,66%; T50%=85,37%; T75%=85,61%) a do tratamento de 0% (58,33%). Já para variável cor, apesar da diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os pontos de coleta em todos os tratamentos, a diminuição dos valores de mediana pode ser visto apenas nos tratamentos de 25 e 50% do CACA.

Costa (2014), usando caroços de açaí alternativo como leito filtrante através da calcinação sem utilizar produtos químicos, teve como resultado no processo de retenção de sólidos suspensos com eficiência de 23%, na remoção de cor aparente com eficiência de 51% e turbidez com eficiência de 32% para água residuária.

Para o NAT observou-se uma diminuição significativa ( $p < 0,05$ ) após a passagem pelo filtro, somente para os tratamentos de maior volume de carvão, com eficiência de remoção de 19,12% para o T50% e 22,06% para o T75%. Sanchez e Matsumoto (2011), obtiveram como resultado uma eficiência média de 41,2%, da remoção de NAT, usando reator de leito móvel com carvão ativado granular em sistema de recirculação para o cultivo de tilápia.

Os resultados para esse parâmetro no presente estudo são positivos partindo-se do pressuposto que ambos os tratamentos receberam quantidades superiores razão ( $p < 0,05$ ) ou seja, receberam uma maior quantidade compostos nitrogenados incorporados à água. Cavero et al. (2004) citam que os compostos resultantes do catabolismo das proteínas, aumentam proporcionalmente ao aumento da quantidade de alimento fornecido e da biomassa.

Em filtros de carvão ativado granular as substâncias dissolvidas podem ser removidas por adsorção física, processo biológico (biorreação) incluindo nitrificação e diminuição de inorgânicos como amônia (DUSSERT E STONE, 1994). Quando existe presença de microrganismos, o processo é identificado como carvão ativado biológico, CAB (MARRARA, 2005).

Em todos os tratamentos houve remoção do  $\text{NO}_2$  ( $p < 0,05$ ), entretanto o comportamento desse composto foi semelhante a NAT, com maior eficiência para os tratamentos de maior volume de CACA (T0%=2,22%; T25%=4,44%; T50%=34,44%; T75%=39,77%).

Os índices de  $\text{NO}_3$  apresentaram diferenças significativas na passagem pelo filtro ( $p < 0,05$ ) em todos os tratamentos, no entanto apenas no tratamento de 0% e 75% CACA os valores de mediana foram maiores após a passagem pelo filtro.

No segundo ponto as variáveis oxigênio dissolvido, temperatura, sólidos totais suspensos, cor aparente e fósforo total não apresentaram diferenças significativas ( $p > 0,05$ ) entre os filtros (Tabela 05).

**Tabela 5-** Valores máximos, mínimos e de mediana dos parâmetros físico-químicos avaliados na saída do Filtro (P2) entre os tratamentos.

Parâmetro	TRATAMENTOS											
	0%			25%			50%			75%		
	Máx.	Med.	Mín.	Máx.	Med.	Mín.	Máx.	Med.	Mín.	Máx.	Med.	Mín.
<b>pH**</b>	8,5	8,23±0,23 <sup>a</sup>	7,2	8,9	8,05±0,32 <sup>b</sup>	7,0	8,5	8,03±0,27 <sup>b</sup>	7,2	8,8	8,13±0,31 <sup>b</sup>	7,2
<b>O2 (mg/L)*</b>	6,4	3,66±0,99 <sup>a</sup>	1,9	5,8	3,6±0,91 <sup>a</sup>	1,9	5,8	3,75±1,02 <sup>a</sup>	2,0	6,1	3,87±1,04 <sup>a</sup>	1,8
<b>STD (mg/L)**</b>	491,0	356±88,49 <sup>a</sup>	172,0	518,0	373±93,98 <sup>ab</sup>	188,0	789,0	396±111,22 <sup>b</sup>	217,0	589,0	387±107,79 <sup>b</sup>	188,0
<b>Temp. (°C)**</b>	28,67	27,44±0,55 <sup>a</sup>	26,28	28,84	27,31±0,58 <sup>a</sup>	26,01	28,74	27,32±0,58 <sup>a</sup>	26,06	29,23	27,27±0,61 <sup>a</sup>	26,05
<b>STS (mg/L)*</b>	34,0	11±7,24 <sup>a</sup>	1,0	21,0	10±4,92 <sup>a</sup>	1,0	20,0	10±4,36 <sup>a</sup>	0,0	26,0	10±5,25 <sup>a</sup>	1,0
<b>C.E (µs/cm<sup>-1</sup>)**</b>	983,0	712±183,48 <sup>a</sup>	205,0	1037,0	745±185,58 <sup>ab</sup>	376,0	1151,0	791±197,41 <sup>b</sup>	397,0	1178,0	775±214,4 <sup>b</sup>	377,0
<b>Turb. (FNU)**</b>	6,9	1,5±1,81 <sup>ab</sup>	0,0	12,5	0,4±2,19 <sup>ac</sup>	0,0	14,0	0,6±3,12 <sup>a</sup>	0,0	12,8	1±2,84 <sup>ab</sup>	0,0
<b>Cor (uC)**</b>	443,0	179±104,48 <sup>a</sup>	6,0	342,0	189±83,58 <sup>a</sup>	18,0	267,0	176±79,02 <sup>a</sup>	18,0	292,0	182±74,39 <sup>a</sup>	24,0
<b>NAT (mg/L)**</b>	2,29	0,65±0,43 <sup>a</sup>	0,12	1,40	0,63±0,27 <sup>a</sup>	0,09	1,27	0,55±0,71 <sup>b</sup>	0,13	1,09	0,53±0,24 <sup>b</sup>	0,15
<b>NO2 (mg/L)**</b>	0,95	0,88±0,22 <sup>a</sup>	0,21	1,61	0,85±0,27 <sup>ab</sup>	0,21	0,94	0,69±0,3 <sup>bc</sup>	0,03	0,94	0,53±0,32 <sup>c</sup>	0,04
<b>NO3 (mg/L)**</b>	64,0	26,9±19,85 <sup>a</sup>	1,1	79,4	27,9±24,25 <sup>a</sup>	1,4	89,4	33±25,21 <sup>a</sup>	1,3	85,1	41,6±25,06 <sup>b</sup>	3,2
<b>P total (mg/L)**</b>	7,9	5,84±2,29 <sup>a</sup>	0,9	8,0	6,54±1,83 <sup>a</sup>	1,3	7,9	6,62±1,85 <sup>a</sup>	1,1	7,9	6,02±1,78 <sup>a</sup>	1,2
<b>Alcal. (mg/L de CaCO<sub>3</sub>)*</b>	254,0	192±46,65 <sup>a</sup>	31,2	290,0	146±58,75 <sup>b</sup>	26,5	256,0	162±54,08 <sup>b</sup>	20,8	294,0	168±55,66 <sup>ab</sup>	21,1

Nota <sup>a-c</sup>: mediana seguida por letras minúscula diferente nas linhas, diferem estatisticamente entre si ; \* ANOVA (P=0,05); \*\* Kruskalwallis (P=0,05).



Os valores de pH apresentaram o mesmo comportamento dos tanques de cultivo, com o pH mais elevados ( $p < 0,05$ ) no T0% em relação aos outros tratamentos, os quais não diferiram entre si. Apesar da diferença, os valores estão próximos à faixa ideal, entre 6,8 e 8,0 para o processo de nitrificação (MASSER et al.1999).

As amplitudes da alcalinidade foram altas entre os tratamentos, devido o seu consumo por parte do processo da nitrificação e as elevações ocasionadas pelas correções feitas com bicarbonato de cálcio. Lawson (1995) observou que a água com uma alcalinidade inferior a 40 mg/L  $\text{CaCO}_3$  afeta o processo de nitrificação independente do pH. Por isso, a alcalinidade deve ser geralmente mantida acima de 50 mg/L  $\text{CaCO}_3$  no sistema de recirculação. (AL-HAFEDH et al., 2003).

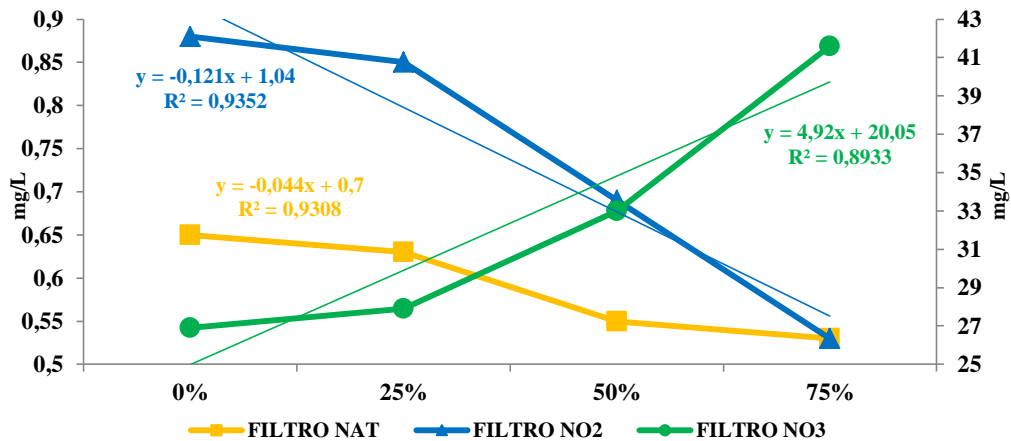
O OD não diferiu entre os tratamentos e apresentou valores dentro da faixa considerada ótima para o processo de nitrificação, que de acordo com Hidaka et al. (2002), é um dos parâmetros mais relevantes nesse processo, visto que concentrações abaixo de 2mg/L podem inibir de forma parcial ou total a atividade das bactérias nitrificantes. Assim como o OD, a temperatura não se diferiu entre os tratamentos e os seus índices se mantiveram próximos da faixa ideal no processo de nitrificação que varia de 28 e 30° (GERARDI, 2002).

Embora os menores valores ( $p < 0,05$ ) de turbidez sejam encontrados no filtro de 25% de CACA, vale salientar que os tratamentos de 50% e 75% além de apresentar eficiência de remoção semelhante ao de 25% tiveram maior aporte de ração. Visto que os principais responsáveis pela turbidez da água são as partículas suspensas, compostas por: bactérias, fitoplâncton, detritos orgânicos e inorgânicos (HUTCHINSON, 1957).

Para as concentrações dos nitrogenados, foi verificado efeito significativo entre os tratamentos ( $p < 0,05$ ), onde para o NAT e o  $\text{NO}_2$  obtiveram menores valores para os filtros de 50% e 75% de CACA e maior valor de  $\text{NO}_3$  para o filtro de 75%. Esse comportamento é característico do processo de nitrificação, onde a Amônia é convertida em nitrito e por último em nitrato (METCALF e EDDY, 2003).

Na figura 3 é possível observar através da regressão linear o comportamento dos nitrogenados em função dos tratamentos.

**Figura 6**--Regressão linear dos índices de Nitrogênio Amoniacal Total (NAT), Nitrito (NO<sub>2</sub>) e Nitrato (NO<sub>3</sub>) em função das porcentagens de carvão ativado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nota-se que conforme se aumenta a porcentagem do CACA o NAT e o NO<sub>2</sub> apresentam diminuição dos valores, já para o NO<sub>3</sub> o comportamento é inverso, constatando então, maior eficiência da nitrificação para as maiores porcentagens de CACA.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O CACA utilizado no experimento apresentou características físico-químicas dentro do recomendado para carvões ativados. As diferentes porcentagens do CACA acrescentadas ao processo de filtração no sistema de recirculação testado, não afetaram de forma direta no desempenho zootécnico do tambaqui, porém sua sobrevivência foi menor no sistema com tratamento controle.

No que tange a qualidade da água nos tanques de cultivo, a maior parte dos parâmetros físico-químicos estiveram dentro da faixa ideal para espécie com destaque ao oxigênio, temperatura e os compostos nitrogenados, exceto o pH, condutividade elétrica, os sólidos totais suspensos que apresentaram valores superiores ao recomendado como ideal nos diferentes tratamentos.

Ao avaliar os parâmetros da água entre o ambiente de cultivo e após o processo de filtragem, foi verificada uma eficiência significativa na diminuição da turbidez após a passagem da água pelos filtros composto por CACA. Para o NAT e NO<sub>2</sub> a eficiência de remoção foi superior nos tratamentos com maior porcentagem de CACA. Assim como, constatou-se uma maior eficiência no processo de nitrificação para esses tratamentos.

Sendo assim a mídia alternativa, na porcentagem de 75, mostra-se como uma opção para ser utilizada em SRA durante a recria do tambaqui, visto que em seu processo de filtragem, os resultados foram satisfatórios principalmente na transformação dos compostos nitrogenados que interferem diretamente no desenvolvimento de organismos aquáticos cultivados.

## REFERENCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1991). Carvão ativado pulverizado: Especificações – EB-2133, 2p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. Carvão ativado pulverizado – Determinação da massa específica aparente – MB- 3413 (NBR 12073), 1p.
- ARAÚJO, A. E. M. **Avaliação dos Parâmetros Físicos e Químicos, Índice de Qualidade da Água no Rio Saúde, em Razão da Precipitação (Maio a Dezembro de 2004): Estudo de Caso**. 2006. 92 f. Dissertação de Mestrado. (Mestrado em Meteorologia: Processos de Superfície Terrestre) – Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió, 2006.
- ARIDE, P.H.R.; ROUBACH, R.; VAL, A.L. Water pH in central Amazon and its importance for tambaqui (*Colossoma macropomum*) culture. **World Aquaculture**, v.35, p.24-27, 2004.
- AL-HAFEDH, Y.S.; ALAM, A.; ALAM, M.A. Performance of plastic biofilter media with different configuration in a water recirculation system for the culture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquacultural Engineering**, v.29, p.139-154, 2003.
- ASTM, AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. D 2867 – 09: Standard Test Methods for Moisture in Activated Carbon. 2014
- BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L. de C. (Org.). **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 2.ed. rev. e ampl. Santa Maria: Ed. da UFSM. 606p. 2010.
- BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária**, São Paulo, 3 ed., CETESB/ASCETESB, 1986, 616p.1986.
- BRANDÃO, F.R.; GOMES, L.D.C.; CHAGAS, C.E.; ARAÚJO, L.D.A.. Densidade de estocagem de juvenis de tambaqui durante a recria em tanques-rede. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, n.4, p.357-362, 2004.
- BRASIL. Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. seção 1, p.58.
- BOYD, C.E. Water quality management for pond fish culture. **Elsevier Science**, Amsterdam. 317pp. 1982.
- BOYD, C.E.; TUCKER, C.S. **Pond aquaculture water quality management**. Boston: Kluwer Academic Publishers, 700p, 1998.
- CAVERO, B.A.S.; PEREIRA-FILHO, M.; BORDINHON, A.M.; FONSECA, F.A.L.; ITUASSÚ, D.R.; ROUBACH, R.; ONO, E.A. Tolerância de juvenis de pirarucu ao aumento da concentração de amônia em ambiente confinado. **Pesq. Agropec. bras.**, 39(5): 513-516. 2004.

CHAGAS ET AL, 2003. CHAGAS, E.C.; GOMES, L. de C.; MARTINS JÚNIOR, H.; ROUBACH, R. Produtividade de tambaqui criado em tanque- rede com diferentes taxas de alimentação. **Ciência Rural** online, 2007, vol.37, n.4, pp.1109-1115 Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010384782007000400031&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S010384782007000400031&script=sci_abstract&tlng=pt)> Acesso em: 28/12/2019.

CORSO, M. N. **Uso de sistemas de recirculação na agricultura**. 2010. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Medicina Veterinária) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

COSTA, J.I.D. **Avaliação econômica e participação do plâncton no cultivo de tambaqui em viveiros com diferentes densidades de estocagem**. 80 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura, 2013.

COSTA, L.D.S. **Utilização do caroço de açaí como leito filtrante no tratamento de água de abastecimento e residuária**. 112p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto de Tecnologia. Universidade Federal do Pará. Belém. 2014.

COSTA, O.T.F.; FERREIRA, D.J.S.; MENDONÇA, F.P.; FERNANDES, M.N. **Susceptibility of Amazonian fish, *Colossoma macropomum* (Serrasalminae) to short-term exposure to nitrite**. n, 232: 627-636. 2004.

CRUZ JUNIOR, Orlando Ferreira. **Produção de Carvão ativado a partir de produtos residuais de espécies nativas de região Amazônica**. 2010, 75f. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Materiais). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba, Paraná.

DIDUSSERT, B.W. E VAN STONE, G.R., **The Biological Activated Carbon Process for Water Purification**, Water, **Engineering & Management**, 1994.

EBELING J., JENSEN G., LOSORDO T., MASSER M., MCMULLEN J., PFEIFFER L., RAKOCY J., SETTE M. **Model Aquaculture Recirculation System (MARS): Engineering and Operations Manual: Aquaculture Education Project**. 50 p. 1995.FERNANDES, Fabiana Lopes. **Carvão de endocarpo de coco da Baía ativado quimicamente com ZnCl<sub>2</sub> e fisicamente com vapor d'água: Produção, caracterização, modificações químicas e aplicação na adsorção de íon cloreto**. 2008, 116 f. Tese (Doutorado em Química Analítica). Universidade Federal da Paraíba, Paraíba

GERARDI, M. **Nitrification and denitrification in the activated sludge process**. **Wiley Interscience**. Nueva York. Estados Unidos. 2002.

HIDAKA, T.; YAMADA, H.; KAWAMURA, M.; TSUNO, H. Effect of dissolved oxygen conditions on nitrogen removal in continuously fed intermittent-aeration process with two tanks. **Water science and technology**. 45(12): 181-188. 2002.

HIGARASHI, M. M; KUNZ, A; MATTEI, R. M. Aplicação de adsorção para remover amônia de efluentes suínícolos pré-tratados. **Química Nova**, v. 31, n. 5, p. 1156-1160, 2008. Disponível em:<<http://submission.quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2008/vol31n5/42AR07383.pdf>>. Acesso em 28 de Dezembro de 2019.

HUTCHINSON, G.G. **A treatise on Limnology**. I Geography, Physics, and Chemistry, New York, John Wiley. 1050 p. 1957.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018). Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940>>. Acesso em: 10 de Dezembro de 2019.ITUASSU, D.R.; SANTOS, G.R.S.; ROUBACH, R.; PEREIRA-FILHO, M. Desenvolvimento de tambaqui submetido

a períodos de privação alimentar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.12, p.1199-1203, dez. 2004.

IZEL, A. C.; MELO, L. A. **Criação de tambaqui ( *Colossoma macropomum* ) em tanques escavados no estado do Amazonas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 20 p. Série Documentos 32. 2004.

KUBITZA, F. Sistemas de recirculação: sistema fechado com tratamento e reuso da água. **Panorama da Aquicultura**, 16(95): 15-22. 2006.

LAWSON, T.B. Fundamentals of Aquacultural Engineering. **Chapman and Hall**, New York, 355 pp.1995.

LIMA, J. de F.; MONTAGNER, D.; DUARTE, S.S.; YOSHIOKA, E.T.O.; DIAS, M.K.R.; TAVARES-DIAS, M. Recirculating system using biological aerated filters on tambaqui fingerling farming. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.54, e00294, 2019.

MARCHESI, M.D.T.; SOUZA, D.C.; LIMA, S.B. **Cultivo de *Oreochromis niloticus* em sistema de recirculação de água associado ao fitotratamento**. Matheus Della Tonia Marchesi, Débora Cristina Souza, Sonia Barbosa Lima. Multitemas v. 23, n. 55 , set./dez. 2018.

MARRARA, Danilo Aparecido Faveri. **Filtração lenta em areia, manta não tecida e carvão ativado como pós-tratamento de efluentes domésticos e reuso**, 2005.117p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, SP.

MASSER, M.P., RAKOCY, J., LOSORDO, T. M. Recirculating Aquaculture Tank Production Systems - Management of Recirculating Systems. Revision. **Southern Regional Aquaculture Center**, Mississippi, n. 452, 1999.

MERCIER, L., DARNAUDE, A. M., BRUGUIER, O., VASCONCELOS, R. P., CABRAL, H. N., COSTA, M. J., LARA, M., JONES, D. L. E MOUILLO, T. D. Selecting statistical models and variable combinations for optimal classification using otolith microchemistry. **Ecological Applications**, v. 21, n. 4 , p. 1352-1364, 2011.

METCALF, EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. Boston: McGraw-Hill. 2003.

PEDREIRA, M.M.; LUZ, R.K.; DOS SANTOS, J.C.E.; SAMPAIO, E.V.S.; SILVA, R.S.F. Biofiltração da água e tipos de substrato na larvicultura do pacamã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.5, p.511-518, maio 2009.

PINTO, M.V.S.; DA SILVA, D.L.; SARAIVA, A.C.F. Obtenção e caracterização de carvão ativado de caroço de buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) para a avaliação do processo de adsorção de cobre (II) **Acta amazonica** vol. 42(4) 2012: 541 – 548, 2012.

PROENÇA, C.E.M.; BITTENCOURT, P.R.L. **Manual de piscicultura tropical**. Brasília: IBAMA, 195 p. 1994.

QUEIROZ, J. F. de; BOEIRA, R. C.; SILVEIRA, M. P. **Coleta e preparação de amostras de sedimentos de viveiros de aqüicultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 5 p. il. (Embrapa Meio Ambiente. Comunicado Técnico, 17). 2004.

SANTOS, B.L.T.; ANDRADE, J.E.; SOUSA, R.G.C. Densidade de estocagem utilizada no desenvolvimento do tambaqui em fase de pré-engorda. **Scientia Amazonia**, v. 3, n.3, 41-50, 2014

SANCHEZ IA, MATSUMOTO T. Monitoramento de 24 horas do desempenho de reator aerbio de leito fluidizado trifásico na remoção de amônio num sistema de recirculação para produção de tilápia.

**Rev Colomb Cienc Pecu** 2011; 24:263-271. SILVA, A.D.R.; SANTOS, R.B.; BRUNO, A.M.S.S.; SOARES, E.C. Cultivo de tambaqui em canais de abastecimento sob diferentes densidades de peixes. **Acta amazônica** vol. 43(4) 2013: 517 – 524. 2013.

SOUZA, R.A.L.; MELO, J.S.C.; PEREIRA, J.A.; PERET, A.C. Determinação da densidade de estocagem de alevinos de tambaqui *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818 (Pisces; Characidae) no Estado do Pará – Brasil. **Boletim Técnico do CEPTA**, v.11, p.3948, 1998.

SOUZA, M. S. **Produção e caracterização de carvões ativados de caroços de açaí e sua aplicação no tratamento de água manancial superficial**. Orientadora: Luiza Carla Girard Mendes Teixeira. 2019. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto de Tecnologia. Universidade Federal do Pará. Belém. 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/12018>. Acesso em: 13/01/2020.

SANCHEZ IA, MATSUMOTO T. Monitoramento de 24 horas do desempenho de reator aerbio de leito fluidizado trifásico na remoção de amônio num sistema de recirculação para produção de tilápia. **Rev Colomb Cienc Pecu**; 24:263-271. 2011.

TIMMONS, M.B.; EBELING, J.M.; WHEATON, F.W.; SUMMERFELT, S.T.; VINCI, B.J. **Recirculating aquaculture systems**. Northeastern Regional Aquaculture Center. E.U.A. 769pp. 2002. THURSTON, R.V.; RUSSO, R.C.; SMITH, C.E. Acute toxicity of ammonia and nitrite to cutthroat trout fry. **Trans. Am. fish. Soc.**, 107: 361 368. 1978.

VAL, A. L.; PAULA-SILVA, M. N.; ALMEIDA-VAL, V. M. F. Hypoxia adaptation in fish of the Amazon: a never-ending task. **South African Journal of Zoology**, 33(2): 107-114. 1998.

WEDEMEYER, G.A. Effects of rearing conditions on the health and physiological quality of fish in intensive culture. In: Iwana, G.K.; Pickering, A.D.; Sumpter, J.P; Schreck, C.B (Ed.). **Fish stress and health in aquaculture**. Cambridge University Press, United Kingdom, p. 35-71. 1997.