



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

ALEXANDRO MONTEIRO DE JESUS

RESÍDUOS DE AÇAÍ, SEUS EFEITOS NA EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS E
PRODUÇÃO DE MUDAS EM MEIO AQUAPÔNICO

BELÉM
2022

ALEXANDRO MONTEIRO DE JESUS

**RESÍDUOS DE AÇAÍ, SEUS EFEITOS NA EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS E
PRODUÇÃO DE MUDAS EM MEIO AQUAPÔNICO**

Dissertação apresentada à coordenação do curso de Pós-graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais do Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos da Universidade Federal Rural da Amazônia, área de concentração Aquicultura e Ecologia Aquática e Manejo de Recursos Naturais, para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Aquicultura

Orientador: Dr. Fábio Carneiro Sterzelecki.

Coorientador: Glauber David Palheta

BELÉM
2022

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

D278r de Jesus, Alexandro Monteiro
RESÍDUOS DE AÇAÍ, SEUS EFEITOS NA EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS E PRODUÇÃO DE
MUDAS EM MEIO AQUAPÔNICO / Alexandro Monteiro de Jesus. - 2022.
79 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, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Carneiro Sterzelecki
Coorientador: Prof. Dr. Glauber David Palheta

1. Aquicultura. 2. Aquaponia. 3. Economia Circular. 4. Tambaqui. 5. Açaí. I. Sterzelecki, Fábio
Carneiro, *orient.* II. Título

CDD 639.31

ALEXANDRO MONTEIRO DE JESUS

**RESÍDUOS DE AÇAÍ, SEUS EFEITOS NA EMERGÊNCIA DE PLÂNTULAS E
PRODUÇÃO DE MUDAS EM MEIO AQUAPÔNICO**

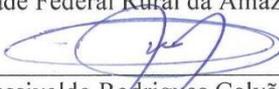
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, área de concentração Aquicultura e Ecologia Aquática e Manejo de Recursos Naturais, para obtenção do título de Mestre.

Aprovado em: 20 de abril de 2022

BANCA EXAMINADORA



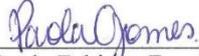
Prof. Dr. Fábio Carneiro Sterzelecki (Orientador)
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA



Prof. Dr. Jessivaldo Rodrigues Galvão (Membro 1)
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA



Profª. Dra. Maria de Lourdes Souza Santos (Membro 2)
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA



Profª. Dra. Paola Fabiana Fazzi Gomes (Membro 3)
Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA

A minha família.
E a minha adorada filha *Livia Sophia*
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Quero deixar meus agradecimentos primeiro a Deus, por ter me dado forças da onde não imaginava.

Aos meus pais, por toda a força, dedicação, compreensão e ensinamentos ao longo dessa jornada, fizeram toda a diferença para eu chegar até aqui.

A Universidade Federal Rural da Amazônia e ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais (PPGAqRAT), por terem dado condições favoráveis para o andamento da pesquisa.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa e incentivo na pesquisa e sua conclusão.

Ao meu orientador, Dr. Fábio Carneiro Sterzelecki, que contribuiu de forma significativa com sua paciência e ensinamentos, além dos conselhos repassados.

Ao coorientador, professor Dr. Glauber Palheta, por todo o apoio e força no decorrer da pesquisa.

Também agradeço aos colegas do Laboratório de Biosistemas Aquícolas (BIOAQUAM), pela ajuda nesse percurso do mestrado - em especial, ao meu irmão Gabriel Jesus, e aos amigos, Rafael Furtado, Ana, que sempre estiveram dispostos a ajudar e a famosa “galera de agro” sintam-se abraçados - Raimundo Formento, Bianca e a Valéria, não tinha tempo ruim, para eles. E também ao Laboratório de Química Ambiental (LQA), que ajudou nas análises de água - em especial a Dra. Maria de Lourdes e ao amigo Adriano Joaquim.

E ao Laboratório de Ecologia Aquática e Aquicultura Tropical (LECAT), pelas condições e disponibilidade em análises, em especial ao professor Dr. Nuno Filipe.

A todos que de alguma forma ajudaram direta ou indiretamente para que essa pesquisa fosse concluída.

Obrigado a todos (as)!

“Estamos nos afogando em informações
e famintos por conhecimento”
Tom Peters

RESUMO

A aquaponia pode ser uma alternativa sustentável frente à agricultura convencional, pois é um modo de produção de alimentos que funciona de forma integrada, que une a criação de animais aquícolas ao cultivo de vegetais sem o uso de solo, ou hidroponia. Contudo, ainda carecem informações básicas de cultivo para muitas espécies amazônicas, assim como o emprego de produtos ou subprodutos da região em sistemas aquapônicos. Nos sistemas baseados na técnica com mídia, há o emprego de substrato no reservatório hidropônico, mas a escolha depende de fatores biológicos, químicos e físicos do material que podem afetar a produção. Nesse contexto, este trabalho possui o objetivo de verificar a utilização do resíduo de açaí, como substrato de biofiltração e produção de mudas em sistema aquapônico. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, com quatro tratamentos e três repetições, verificando o efeito do fluxo de água contínuo através do caroço de açaí, em três diferentes níveis de água (5, 10 e 15 cm) e um controle (sem adição de resíduo de açaí). Durante 30 dias foram analisados a qualidade da água, desempenho zootécnico e fitotécnico. No decorrer de 28 dias, a amônia total foi menor que 1 mg L^{-1} nos tratamentos com açaí e superior a 5 mg L^{-1} no controle, enquanto não houve diferença significativa entre os grupos ($p > 0,05$) para o nitrito e fosfato. O oxigênio dissolvido, o total de sólidos dissolvidos e a condutividade foram baixos, enquanto o pH e a alcalinidade aumentaram. A germinação superficial de açaí, após 22 dias, foi 2,63 e 3,07 vezes maior no nível de água de 10 cm, embora o maior crescimento das mudas tenha sido observado no tratamento com nível de 5 cm. Em relação ao desempenho zootécnico do tambaqui, após 30 dias, não foram observadas diferenças significativas entre os grupos. Logo, o resíduo do açaí é capaz de remover compostos nitrogenados eficientemente, não afetando negativamente o crescimento do tambaqui.

Palavras-chave: Economia circular; Cultivo integrado, Cultura sem solo; Meios de crescimento; Sementes de açaí; Tambaqui.

ABSTRACT

Aquaponics can be a sustainable alternative to conventional agriculture, as it is a way of producing food that works in an integrated way, which combines the creation of aquaculture animals with the cultivation of vegetables without the use of soil, or hydroponics. However, basic information on cultivation for many Amazonian species is still lacking, as is the use of products or by-products from the region in aquaponic systems. In systems based on the media technique, substrate is used in the hydroponic reservoir, but the choice depends on biological, chemical and physical factors of the material that can affect production. In this context, this work aims to verify the use of açai residue as a substrate for biofiltration and seedling production in an aquaponic system. The experiment was carried out in a completely randomized design, with four treatments and three replications, verifying the effect of continuous water flow through the açai seed, in three different water levels (5, 10 and 15 cm) and a control (without addition of açai residue). During 30 days, water quality, zootechnical and phytotechnical performance were analyzed. Over 28 days, total ammonia was less than 1 mg L⁻¹ in the açai treatments and greater than 5 mg L⁻¹ in the control, while there was no significant difference between groups ($p>0.05$) for nitrite and phosphate. Dissolved oxygen, total dissolved solids and conductivity were low, while pH and alkalinity increased. The surface germination of açai, after 22 days, was 2.63 and 3.07 times higher in the water level of 10 cm, although the highest seedling growth was observed in the treatment with a level of 5 cm. Regarding the zootechnical performance of tambaqui, after 30 days, no significant differences were observed between the groups. Therefore, the açai residue is able to efficiently remove nitrogen compounds, not negatively affecting tambaqui growth.

Keywords: Circular economy; Integrated cultivation; Soilless culture; Growth media; Açai seeds; tambaqui.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	9
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo Geral	12
2.2 Objetivos específicos	12
3 JUSTIFICATIVA	13
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4.1 Produção global de alimentos e sustentabilidade	15
4.1.1 Sustentabilidade na Amazônia	17
4.2 Sistemas de produção na aquicultura	18
4.2.1 Baseado na hidrologia	18
4.2.1.1 Sistemas abertos	18
4.2.1.2 Sistema semi-fechado	19
4.2.1.3 Sistema fechado	19
4.2.2 Baseados na produtividade	19
4.2.2.1 Sistema extensivo	20
4.2.2.2 Sistema semi-intensivo	20
4.2.2.3 Sistema intensivo	20
4.2.2.4 Sistema superintensivo	21
4.3 Sistema de recirculação de água (SRA)	21
4.3.1 Componentes do SRA	22
4.3.1.1 Bombas	22
4.3.1.2 Filtros mecânicos	22
4.3.1.3 Filtros biológicos	22
4.3.1.4 Aeração	23
4.4 Aquaponia	23
4.3.1 Caracterização do sistema de aquaponia	24
4.3.2 Componentes biológicos	24
4.3.3 Componentes físicos	25

4.3.3.1 Cultivo em sistema com substrato (Media Filled Growbed)	26
4.3.3.2 Cultivo em canaletas ou NFT (Nutrient Film Tchnique)	27
4.3.3.3 Cultivo em placas flutuantes (Floating Raft System)	27
4.4 Tambaqui, <i>Colossoma macropomum</i>	28
4.4.1 Classificação sistemática	28
4.4.2 Caracterização da espécie	28
4.4.3 Cultivo de tambaqui	30
4.5 Uso de substratos	31
4.5.1 Uso de substratos em hidroponia e aquaponia	31
4.6 Açaí	34
4.6.1 Usos gerais do resíduo de açaí	35
4.6.1.1 Carvão de açaí como substrato	36
7 REFERÊNCIAS	38
CAPÍTULO II	56
8 CAPÍTULO 2: Resíduo de açaí <i>Euterpe oleracea</i> , para a produção de mudas em meio aquapônico	57
RESUMO	58
ABSTRACT	59
1 Introdução	60
2 Material e métodos	62
2.2 Análise da água	63
2.3 Desempenho de crescimento dos peixes	64
2.4 Desempenho do vegetal	64
2.5 Análises estatísticas	64
3 Resultados	65
3.1 Análise da qualidade de água	65
3.2 Desempenho vegetal	66
3.3 Desempenho de crescimento dos peixes	67
4 Discussão	68
4.1 Qualidade da água	68

4.2 Desempenho vegetal	70
4.3 Crescimento de peixes	70
5. Conclusão	71
Referências	72

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para uma melhor organização da dissertação, optou-se em dividi-la em dois capítulos, sendo o primeiro referente a contextualização geral do assunto e o segundo capítulo contém o artigo redigido segundo as normas da Revista Aquacultural Engineering: ISSN: 0144-8609.

O capítulo um é composto pela introdução geral, objetivos do trabalho e o referencial teórico abordando questões como a: produção global de alimentos e sustentabilidade; Sistemas de produção na aquicultura; Sistema de recirculação de água; Aquaponia; Tabaqui e Resíduos de açaí.

No segundo capítulo, está redigido o artigo intitulado “Resíduo de açaí *Euterpe oleracea*, para a produção de mudas em meio aquapônico”.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZAÇÃO

Padronizado de acordo com as normas da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

1 INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento da população mundial é alto, com projeções ascendentes para os próximos anos, o que deve aumentar a demanda por alimentos (HUNTER et al., 2017). Está previsto que em 2030 haverá aproximadamente 8,6 bilhões de pessoas, podendo chegar a 11,2 bilhões, em 2100 (FAO, 2017). Para o sustento dessa população crescente é necessário empregar sistemas de produção de alimentos sustentáveis, baseado em três pilares básicos da sustentabilidade: econômico, ambiental e social (NAYLOR et al., 2000).

A aquaponia pode ser uma das alternativas de produção sustentável, pois associa a aquicultura de recirculação com sistemas hidropônicos, produzindo simultaneamente organismos aquáticos e plantas (TYSON; TREADWELL E SIMONNE, 2011; SOMERVILLE et al., 2014). Nessa integração a produtividade é maior, com a utilização de menos água, menor espaço e menor quantidade de resíduos liberado no ambiente (GRABER & JUNGE, 2009). O sistema direciona os resíduos provenientes do cultivo de organismos aquáticos ao crescimento e desenvolvimento de plantas, um verdadeiro sistema integrado multitrófico (RAKOCY, 2012; HU et al., 2015).

Os vegetais obtidos pela aquaponia são reconhecidos como frescos e alimentos mais seguros para a alimentação humana, pois são livres da adição de agrotóxicos (RAKOCY; HARGRAVES, 1993). O sistema aquapônico apresenta aspecto econômico relevante ao tratar a água, haja vista que os métodos de tratamento de água são onerosos e não são tão eficientes (ZOU et al., 2016), sem a necessidade de adicionar solução nutritiva, como usado na hidroponia (CARNEIRO et al., 2015; LENNARD; GODDEK, 2019), diminuindo custos (WONGKIEW et al., 2017) além do uso de água ser menor quando comparado à agricultura e aquicultura tradicionais (TYSON, TREADWELL E SIMONNE, 2011).

Entre as espécies de peixes com potencial para aquaponia na região amazônica está o tambaqui (*Colossoma macropomum*) (PINHO et al., 2021), uma das principais espécies nativas produzidas no Brasil (PEIXE BR, 2018). Contudo, a produção basicamente é composta de monocultivos em viveiros escavados intensamente arraçoados (IBGE, 2016). Essa espécie pode ser produzida em distintos sistemas de criação, de forma semi-intensiva ou mais intensiva, em viveiros escavados, barragens e tanques-rede, com o emprego de rações balanceadas, que são fundamentais para o sucesso da criação (DAIRIKI et al., 2011).

Em sistemas de recirculação de água, há poucos estudos dessa espécie podendo citar-se os seguintes estudos relacionados a(s): nutrição (LIMA et al., 2016; PAULINO et al., 2018); influência da temperatura e densidade na taxa de excreção de amônia (ISMÍÑO-ORBE et al.,

2003), comportamental (REIS et al., 2019). Lima et al. (2019a), ao testarem o uso de filtros biológicos aerados, no cultivo de alevinos de tambaqui, utilizaram as densidades de estocagem de 1,4 e 2,5 kg/m³. Os parâmetros zootécnicos, não foram influenciados pela densidade e nem pelo tipo de biofiltro. A densidade de estocagem foi avaliada por Santos et al. (2021) para tambaquis, e para peixes com peso inicial de 34,88 ± 0,60 g o ótimo foi de 0,5 kg/m³ e para peixes maiores, com 150,61 ± 0,58 g, a melhor densidade foi de 1,5 kg/m³. Nesse cultivo intensivo foi salientado a importância de classificar os animais pelo tamanho.

Na aquaponia os estudos com a espécie também são escassos, geralmente em fase experimental preliminares, e com reduzidas iniciativas de cunho comercial (MORAES et al., 2014). Entretanto, os trabalhos existentes demonstram caminho promissor nas fases iniciais de cultivo de tambaqui (LIMA et al., 2015; IBRAHIM et al., 2015), e Silva et al. (2020) constataram bons resultados para a produção de alevinos (densidade de 200 peixes m⁻³, 2,41 ± 0,3 g e 5,28 ± 0,7 cm) e recria (50 peixes m⁻³, 67,78 ± 13,86 g). Híbridos de tambatinga, (*C. macropomum* x *Piaractus brachypomum*), também apresentaram resultados positivos em relação ao ganho de peso na fase inicial (LOPES et al., 2018), assim como para outras espécies nativas semelhantes, como o pacu (PINHO et al., 2017).

A produção de vegetais quando é feita com uso intensivo do solo em estufas pode gerar problemas como, a salinização e males fitossanitários, o que afeta negativamente o cultivo de diversas hortaliças (FURLANI et al., 2013).

Na ausência de solo, a escolha de substrato empregado é bastante relevante, pois tem influência no desenvolvimento de plantas e na qualidade (CABRAL et al., 2011). Portanto, os substratos mais recomendados para uso, devem conter boa capacidade de troca de cátions e de retenção de umidade, beneficiando o sistema radicular das plantas e que seja de fácil acesso para o produtor (MESQUITA et al., 2019).

A aquaponia pode ser caracterizada em três principais tipos: a Nutrient Film Technique (NFT), ou ambiente de cultivo em canaletas, funciona com os vegetais dispostos em canaletas, nas quais passam um baixo fluxo de água pelas raízes; Deep Water Technique (DWT) ou ambiente flutuante, consiste em estruturas flutuantes, nas quais ficam dispostos os vegetais, e há o leito de mídia, que empregam substratos para fixarem as plantas, considerado vantajoso pois favorece a proliferação de microrganismos que auxiliam no processo de nitrificação, tido como um compartimento adicional de biofiltro (LENNARD E GODDEK, 2019; WONGKIEW et al., 2017).

Na Amazônia, o açaí (*Euterpe oleracea*, Mart, 1824), apresenta grande importância econômica, dado que o Brasil é o maior produtor e consumidor (MENEZES et al., 2008). Mas

outrora era considerado um produto essencialmente extrativista e de consumo das populações locais tradicionais, a partir de 1990 a economia do fruto cresceu, alcançando os grandes centros urbanos do Brasil e países do NAFTA, Tigres Asiáticos, MERCOSUL e da União Europeia (SANTANA; COSTA, 2008; FALESI et al., 2010). Com isso, a oferta local de açaí diminui, que por conseguinte aumenta seu preço (SANTANA; COSTA, 2008), acarretando em uma pressão sobre o açaí, correndo o risco de esgotar esse recurso, necessitando procurar estratégias para melhorar a produção de açaí de forma sustentável (HOMMA, 2008). Além de que o processamento do açaí gera resíduos, como as sementes e fibras, que são descartadas inadequadamente no meio ambiente, da polpa do fruto somente 20% do peso do fruto são aproveitados (MELO et al., 2021).

Na aquaponia o uso de substratos, se concentram normalmente no emprego de argila expandida, areia e cascalhos vulcânicos. Uma possibilidade na região amazônica é a utilização do caroço de açaí, que é descartado nas cidades causando um grande problema ambiental e à saúde pública (MARTINS et al., 2009; ALMEIDA et al., 2017). Contudo não há estudos publicados nesse sentido, e o presente trabalho pretende avaliar o uso de substrato com caroço de açaí em sistema aquapônico com tambaqui.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o resíduo de açaí (*Euterpe oleracea*) como alternativa para biofiltração e produção de mudas, em sistema de aquaponia com tambaqui (*Colossoma macropomum*).

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar os efeitos do nível da água na cama hidropônica com caroço de açaí na qualidade da água durante 30 dias;
- Avaliar os efeitos do nível da água na cama hidropônica com caroço de açaí no desempenho zootécnico do tambaqui após 30 dias;
- Avaliar o desempenho fitotécnico da produção de mudas de açaí nos diferentes níveis de água na subseção hidropônica com resíduo de açaí;

3 JUSTIFICATIVA

A produção de alimentos através da aquaponia possui diversas vantagens socioeconômicas e ambientais quando comparados aos monocultivos tradicionais. Pode ser empregada em solos pobres em nutrientes, e onde a água é escassa, minimiza níveis de nitrogênio amoniacal do cultivo piscícola, deslocada para a nutrição vegetal da hidroponia. Nessa perspectiva, é um sistema que adota a economia circular, em que reutiliza a água e evita o despejo do efluente da aquicultura em corpos d'água a jusante (SOUTHERN E KING, 1982; FAO, 2016; MARISCAL-LAGARDA et al., 2012) Apesar de ser considerada uma tecnologia relativamente nova no Brasil, é comprovadamente viável do ponto de vista econômico e técnico (RAKOCY, MASSER E LOSORDO, 2006; GRABER E JUNGE, 2009; JORDAN et al., 2018).

A espécie de peixe escolhida foi o tambaqui (*Colossoma macropomum*), dado sua importância mercadológica, evidenciada pela maior produção na região amazônica e a segunda no Brasil. O cultivo comercial do tambaqui é principalmente realizado em viveiros escavados de forma semi-intensiva, mas também é possível encontrar de forma intensiva em tanques-rede. Possui grande potencial na aquicultura devido às características favoráveis de criação, com a adaptabilidade a diferentes unidades de cultivo, apresentam capacidade de suportar altas densidades, suportar baixas concentrações de oxigênio (HANCZ, 1993; MELO; IZEL; RODRIGUES, 2001; CHAGAS et al., 2005; SILVA; SANTOS; SOARES, 2013) e a carne possui características organolépticas favoráveis ao consumo (ARAÚJO-LIMA; GOULDING, 1997; PEIXE BR, 2018).

Em relação ao uso de caroço (fruto) de açaí, para a região em 2019, mais precisamente para o Estado do Pará. A produção nacional total do fruto foi de 1.621.034 toneladas, com valor de produção de R\$ 3.615.468.000,00, o que confere ao Pará o status de principal produtor com 1.471.943 t, no valor de 3.345.655.000,00, segundo dados do IBGE/Produção Agrícola Municipal e IBGE/PEVS (Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura) (IBGE, 2019a; 2019b). Como resultado da atividade intensamente explorada, o resíduo, caroço do açaí, é descartado no meio ambiente ou despejado em aterros sanitários (ALMEIDA et al., 2017). Assim, existe uma grande disponibilidade deste produto no Estado do Pará e que poderia ser utilizado na aquicultura.

Nesse contexto, a presente pesquisa justifica-se pela busca de tecnologias sustentáveis para a produção de alimentos seguros e de qualidade, através da aquaponia. O uso do caroço de açaí como substrato visa o aproveitamento de resíduos, que pode gerar impactos ambientais e

socioeconômicos positivos na região Amazônica, principalmente nas comunidades mais carentes.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Produção global de alimentos e sustentabilidade

O economista inglês Thomas Malthus, projetou que o crescimento da população mundial ocorreria em progressão geométrica, enquanto a produção de alimentos aconteceria em progressão aritmética, tal fato geraria um ponto de insustentabilidade, dispersando a fome, miséria e até mesmo conflitos armados (MALTHUS, 1798), no entanto, sabe-se que essas projeções não se concretizaram, apesar do constante crescimento da população mundial, e em virtude disso, tomaram-se algumas medidas, como a ‘Revolução Verde’.

A ‘Revolução Verde’ foi um programa criado com o principal objetivo de modernizar a agricultura e aumentar a produtividade, mas trouxe consigo o uso de agrotóxicos, em 1950, nos Estados Unidos, e posteriormente no Brasil, em 1960, com a aplicação do Programa Nacional de Defensivos Agrícolas (PNDA) (LOPES E ALBURQUERQUE, 2018), o governo obrigava os produtores adquirirem uma determinada cota de agrotóxicos para poderem conseguir crédito rural (JOBIM et al., 2010).

O uso de tais substâncias visam combater ou evitar algum tipo de praga nas plantações, no entanto, o emprego desmedido pode gerar problemas de saúde para a população e danos para o meio ambiente (RIGOTTO et al., 2014).

Em 2013, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), publicou em seu estudo, que 36% de amostras de frutas, verduras, legumes e cereais estavam impróprios para o consumo humano e ou ainda continham substâncias proibidas no Brasil (ANVISA, 2011). Na região do submédio do Vale do Rio São Francisco-Pernambuco, por exemplo, 11% de amostras da produção de tomates industriais estavam impróprias ao consumo devido ao uso de defensivos (CARNEIRO et al., 2014).

A Revolução Industrial também foi um marco histórico que trouxe alguns aspectos, como a aceleração das modificações climáticas a nível mundial, como a expansão de desertos (FENG e FU, 2013) e de regiões semiáridas (HUANG et al., 2016), em várias partes do planeta.

A concentração populacional em áreas metropolitanas é uma tendência relevante, haja vista que em 2050, 66% da população global se encontrará em zonas urbanas (PDDESA, 2014).

Logo necessita-se resolver problemas logísticos para o abastecimento de alimentos, sendo que a separação dos centros produtores de alimentos dos centros de consumo, gera quantidades galopantes de desperdício de alimentos perecíveis, situação fortalecida pelo estudo da FAO, (2019), que aponta que o desperdício de alimentos chega a um terço da comida produzida para o consumo humano, representando perdas de cerca de US\$ 990 bilhões, além

de contribuir para o aquecimento global, gerando taxas relevante de poluição e gases do efeito estufa.

O aumento da incidência de contaminantes, como os metais pesados, em rios, mares e oceanos, é atribuído ao aumento da poluição e falta de tratamento de água, gerando problemas para a saúde humana, que ao ingerir peixes que tenham absorvidos substâncias nocivas (MORMEDE e DAVIES, 2001; BOSCH et al., 2015).

No Brasil o uso de água doce tratada chega a cerca de 70% para fins agrícolas, seguido pelo consumo industrial e cosmético, sendo a prática da irrigação agrícola a principal usuária da água doce do mundo e ainda contribui para a poluição ao carrear fósforo e nitrogênio para águas superficiais (PINTO-COELHO; HAVENS, 2015; FITZSIMMONS, 1992).

A aquicultura é uma atividade que se baseia no cultivo de organismos aquáticos, e é o ramo da produção de proteína animal que mais cresce no Brasil, superando as taxas de crescimento da bovinocultura, da suinocultura e da avicultura (KUBITZA, 2015).

A aquicultura já é praticada há milênios (em torno de 2.000 a.C.), acredita-se que suas origens estão relacionadas com a China, com evidências do primeiro registro escrito conhecido, no livro de Fan Li, em 460 a.C., o qual continha descrições da aquicultura e seus benefícios, há evidências também da aquicultura em pictogramas dos túmulos dos faraós do Egito, ilustrando pessoas pescando tilápias em estruturas que parecem ser viveiros (STICKNEY, 2005).

Entretanto, a evolução rápida da aquicultura deve ser realizada de forma ecológica, envolvendo aspectos relacionados à tecnologia, meio ambiente, multidisciplinar e multi-institucional (COSTA-PIERCE, 2002). Para um sistema de produção de alimentos ser sustentável, ele necessita seguir os seguintes itens, segundo Parker (2012):

- Satisfazer as necessidades humanas alimentícias, no presente e no futuro;
- Produzir alimentos de forma integrada, com plantas e animais;
- Interferir o mínimo possível nos processos e ciclos naturais;
- Ser projetados de maneira que possam atender às questões biológicas, sociais e econômicas, no local onde estão inseridos;
- Disponibilizar uma renda justa para os produtores;
- Proteger os recursos naturais;
- Melhorar a qualidade de vida de todos os envolvidos direta ou indiretamente.

A preocupação com os impactos causados pela aquicultura vem aumentando com o aumento do cultivo, chamando a atenção de ambientalistas, conservacionistas, de entidades reguladoras e do público em geral (HUNTINGFORD; KADRI; JOBLING, 2012).

Em virtude disso, algumas práticas são empregadas para aumentar a sustentabilidade dessa atividade, como: modernos sistemas de policultivo, cultivo em gaiolas e sistemas empregando *raceway*, sistemas de recirculação, aquaponia, e aquicultura em sistema multitrófico integrado (IMTA), intensificando a produção, em menor área, com menor efluentes, mas com aumento do custo operacional (EDWARDS, 2015).

Para o pleno desenvolvimento da aquicultura é necessário que ela auxilie na preservação ambiental, que pode ser feito empregando tecnologias menos degradantes ao meio ambiente e atenção para a qualidade de água e seu descarte final, evitando o colapso da atividade (PILLAY; KUTTY, 2005a).

Logo, a grande diferença entre a demanda global projetada de alimentos e a questão da disponibilidade ou não de recursos renováveis para a produção de alimentos, demanda meios sustentáveis de produção (TILMAN et al., 2011) e salienta-se que os atuais sistemas de monocultura tradicionais necessitam ser avaliados quanto ao potencial de inserção de práticas multitróficas, como as desenvolvidas para a aquicultura de água doce e marinha, trazendo notoriedade para a prática de aquaponia (NOBRE et al., 2010).

4.1.1 Sustentabilidade na Amazônia

A perda de biodiversidade na Amazônia é alvo de debates, pois envolve a questão da degradação e desenvolvimento econômico, sendo a pecuária a principal atividade degradante, destruindo grande parte da floresta (CRISTALDO, 2017). No entanto, pouco se tem feito para tornar a produção sustentável na Amazônia, dificultando o acesso do pequeno produtor a linhas de crédito junto às instituições financeiras (SILVA et al., 2016).

A abundância de madeiras e de qualidade presentes na região Amazônica, tornou a região a principal fornecedora de madeiras a nível mundial, notando-se, com isso, o aumento de madeiras na região (FERREIRA et al., 2005). A pecuária também é responsável pelo aumento do desmatamento, degradando o solo, os serviços ecossistêmicos e a biodiversidade, com efeitos em todo o Brasil (ICHIHARA, 2003; LAHSEN et al. 2016; COWIE, 2018). A extração de produtos madeireiros e não madeireiros é a principal atividade agrícola dos produtores na Amazônia, e a grande preocupação dos pesquisadores é como fazer essa sucessão de forma agroecológica, reposicionando não apenas as árvores, mas também, a biodiversidade da região (HOMMA, 2005).

As produções alimentícias na região, é tida como incipiente para atender a demanda interna regional, dado que o clima quente e úmido não é recomendado para algumas espécies de plantas e pode ocasionar doenças entre as mesmas. Outro fator que contribui é que muitas

atividades de pequena produção amazônica se caracterizam pela dificuldade de implementação de mecanização agrícola em alguma fase do processo produtivo, aplicando mão de obra intensiva (HOMA et al., 2014), sendo necessário realizar a importação de alimentos de outras regiões do país (OLIVEIRA JÚNIOR, 2010). Um exemplo da região, é o Estado do Pará, que depende da oferta de hortaliças de outras regiões do Brasil (BOARI et al., 2018).

4.2 Sistemas de produção na aquicultura

A classificação da aquicultura em categorias é importante pois está relacionada com as estratégias de desenvolvimento, a programação da atividade, e organização dos gastos financeiros, que necessitam ser feitos antes de se iniciar o empreendimento. Os sistemas de produção na aquicultura podem ser classificados de diversas maneiras, a saber: classificação socioeconômica, hidrológica, baseada na produtividade, na biodiversidade (VINATEA, 2004). A seguir é abordado a classificação baseada no uso da água e na produtividade e por último as principais possibilidades utilizadas na aquicultura/piscicultura.

4.2.1 Baseado na hidrologia

Esta classificação é em consonância com a forma de uso da água, atrelado ao grau de intervenção ou controle que o aquicultor dispõe para o correto funcionamento do sistema de produção, como: temperatura favorável, recomendável disponibilidade de oxigênio e retirada de resíduos presentes no cultivo. Entretanto é importante ressaltar que a diferenciação de um sistema para outro pode não ser nitidamente clara, existindo desta maneira, gradações e sobreposições entre os sistemas. (TIDWELL, 2012).

4.2.1.1 Sistemas abertos

Os sistemas de produção nesta categoria, caracterizam-se por serem totalmente dependentes do meio ambiente, para a inclusão de oxigênio, decomposição de resíduos (ciclo natural do nitrogênio e ou pela atividade das algas), o movimento das águas e ação dos ventos são responsáveis por dispersar os resíduos presentes e abastecer o sistema com água limpa e oxigenada, apresentam densidades de estocagem geralmente baixas, a temperatura ambiente é utilizada no cultivo; logo a importância da escolha do local é fundamental para o sucesso da atividade nesses sistemas (TIDWELL, 2012).

A principal vantagem e desvantagem nesse sistema, respectivamente, é o investimento financeiro que é baixo, pois a atividade baseia-se em liberar os organismos aquáticos e esperar crescerem, até o momento da despesca e a área utilizada para o cultivo, que muitas vezes são grandes e podem abranger áreas públicas e ou privadas, podendo gerar discussões quanto o

direito à propriedade do sistema e até mesmo da produtividade do cultivo (PILLAY; KUTTY, 2005a), a caça e a predação também são problemas enfrentados nesses sistemas (TIDWELL, 2012).

4.2.1.2 Sistema semi-fechado

Esses sistemas ainda dependem consideravelmente do meio ambiente, no referente à temperatura, oxigênio e remoção de resíduos, a interferência dos produtores é maior, presente na construção das unidades de produção, a água usada entra no sistema por gravidade ou por bombeamento, utilizando-a uma única vez e descartá-la ou é tratada e reoxigenada naturalmente.

O controle de entrada de água favorece a maximização dos parâmetros físicos, a produtividade é maior que o sistema aberto em torno de 1.000 vezes a mais, e apresenta mais vantagens, como: utilização de unidades produtivas com profundidades rasas, diminuindo a estratificação térmica, facilitando o monitoramento do oxigênio dissolvido, e aerar quando necessário, controle da alimentação, uso de aeração mecânica, controle de invasores e predadores, detecção e controle da qualidade de água, doenças e temperatura. Como desvantagens destacam-se o custo que é alto, para o uso de equipamentos e construção das unidades de cultivo, assim como a necessidade de maior energia e alimentação de qualidade para o cultivo (TIDWELL, 2012).

4.2.1.3 Sistema fechado

A água utilizada nesse sistema é reutilizada, para isso emprega-se até ultravioleta para o combate de organismos patogênicos, a intervenção humana é constante na produção, a temperatura é controlada chegando e mantendo, a temperatura ideal para o animal, ou pelo menos próxima, favorecendo a eficiência da taxa de crescimento, a alimentação é fornecida de forma eficiente monitorado o consumo e taxa de conversão alimentar, o volume de água utilizado para o abastecimento é menor, sendo que a perda de volume de água por dia pode chegar a ser 5%, não sendo preocupante, e os fatores externos ambientais deixam de ser uma preocupação, como, variação de maré (TIDWELL, 2012).

4.2.2 Baseados na produtividade

No Brasil é mais usual a classificação baseada na produtividade, em que cada sistema de produção apresenta suas particularidades de acordo com as características da região e objetivo do empreendimento aquícola. O grau de mecanização, quantidade e qualidade dos

insumos, técnicas, manejo dos sistemas, empregados, podem ser classificados em quatro tipos: extensivo, semi-intensivo, intensivo e superintensivo (CREPALDI et al., 2007; BUENO, 2012).

4.2.2.1 Sistema extensivo

O cultivo neste sistema é passivo, pois geralmente limita-se em colocar os organismos de cultivo em grandes corpos hídricos onde ficam até a retirada, como: lagos, represas, ou a utilização de viveiros grandes ou gigantescos podendo variar de 10 a 100 ha. As principais características desse sistema é a inexistência de infraestrutura como revestimentos nas paredes e fundos do viveiro, sendo de terra, comportas de concreto, a não oferta de rações, ficando o animal exclusivamente dependente da alimentação natural, densidade de estocagem baixa (geralmente de um peixe/10m²); nenhuma troca de água, o abastecimento é feito por derivação ou pelas marés, oxigenação baseada na ação do fitoplâncton e na ação dos ventos; a vantagem é que o investimento inicial mínimo é baixo, o custo principal é para a aquisição e movimento de terra; a mão-de-obra não é qualificada, apresenta baixa produtividade, lenta taxa de crescimento (VINATEA, 2004, LOPES, 2012; BUENO, 2012; WAMBACH, 2012).

4.2.2.2 Sistema semi-intensivo

Os cultivos nesse sistema de produção podem ser também realizados em lagos e represas, e viveiros com tamanho médio de 1,0 a 10,0 ha, as paredes e fundos são de terra, a alimentação dos peixes é uma parte de ração e a maioria é de alimentação natural, composta de fitoplâncton, zooplâncton e etc., para isso aumenta-se a disponibilidade de minerais empregando-se adubos orgânicos (esterco de bovinos, equinos, etc.) ou químicos (fontes de nitrogênio e fósforo). A densidade de estocagem é moderada, a produtividade é maior que a do extensivo variando geralmente entre 2.000 e 6.000 kg/ha/ano, as trocas de água são mínimas e por bombeamento de 1 a 5% ao dia, a aeração mecânica é opcional. O investimento inicial médio é moderado e pouco exigente em mão de obra especializada (VINATEA, 2004; LOPES, 2012; BUENO, 2012; WAMBACH, 2012).

4.2.2.3 Sistema intensivo

Os viveiros presentes nesta categoria são pequenos de 0,1 a 1,0 ha e planejados, os fundos e paredes geralmente são revestidos de concreto ou plástico, há a presença de declividade para facilitar a drenagem da água e despesca dos animais. A densidade de estocagem é alta, logo a necessidade de usar rações artificiais balanceadas, tornando o uso de alimentos naturais insuficientes, no início do cultivo a qualidade da ração tem que ser alta assim como a frequência alimentar, a taxa de renovação da água é grande e por bombeamento de 20

a 100% ao dia ajudando a suportar a biomassa presente e levar as excretas para fora do sistema, uso de aeração mecânica ou de oxigênio puro, investimento inicial bastante elevado, exige mão-de-obra capacitada, (VINATEA, 2004; BUENO, 2012; WAMBACH, 2012; FARIA et al., 2013).

4.2.2.4 Sistema superintensivo

Nesse sistema a taxa de estocagem é elevada, dinâmico pois existem mudanças nas estratégias de manejo durante o cultivo, para a manutenção adequada da qualidade da água, originou os cultivos chamados ZEAH (Zero Exchange, Aerobic, Heterotrophic Culture Systems): baseado na não renovação de água com presença de biota majoritariamente aeróbica e heterotrófica, é incentivado a formação de meio heterotrófico, a oxigenação é abundante, ambiente deve ter fontes ricas em carbono. Quando balanceados, o carbono e o nitrogênio estimulam a formação de flocos microbianos, capazes de assimilar os compostos nitrogenados originados da excreção e dos restos de alimentos em decomposição. (SCHNEIDER et al., 2005).

As bactérias heterotróficas são mais rápidas para agir na imobilização da amônia se comparada com a nitrificação, pois a taxa de crescimento e a produção de biomassa por unidade de substrato deste tipo de microrganismo é muito maior (HARGREAVES, 2006).

A vantagem desse sistema é a redução do uso da água e da geração de efluentes, apresentando importância ambiental, além de favorecer a dieta dos animais, complementada pela produtividade natural presente nos viveiros (NUNES, 2005).

4.3 Sistema de recirculação de água (SRA)

O sistema de recirculação funciona com base na reutilização da água, a qual é tratada por filtros mecânicos e biológicos, onde haverá a retenção dos resíduos sólidos, como subprodutos da degradação da alimentação e nutrição dos animais cultivados, outro aspecto fundamental é a ocorrência do metabolismo de compostos nitrogenados presentes (LIMA et al., 2015).

Os sistemas de SRA, apresentam como destaque as seguintes vantagens: cultivo em sistema controlado, taxas de crescimento controladas, e períodos estabelecidos para a despesca, quanto a produção, é maior quando considerado por área e por trabalhador, do que outros sistemas de aquicultura, uso de menos água (90-99% a menos) e menos que 1% se comparado aos sistemas convencionais (TIMMONS; EBELING, 2013a). Como principais desvantagens desse sistema citam-se os: investimento inicial e de operação alto, e a complexidade do

funcionamento dos sistemas de filtragem, como a manutenção do biofiltro, para não entupir, retirando os resíduos sólidos da água (FILHO, 2000; AZEVEDO et al., 2014).

4.3.1 Componentes do SRA

No SRA, há os tanques de cultivo, sistema de tratamento de água e uma bomba (adaptada) para transportar a água pelo sistema, e estruturas para a captação, armazenamento, tratamento e descarte da água. O sistema de tratamento de água pode consistir no emprego de processos biológicos, físicos e químicos, visando deixar os parâmetros de qualidade de água em níveis aceitáveis (LEKANG, 2013a; AZEVEDO et al., 2014).

4.3.1.1 Bombas

As bombas são dispositivos mecânicos que são a fonte de energia dos fluidos, transformando a energia mecânica e a energia potencial (e ou cinética) do fluido. No momento em que se observa a elevação da água em meios de cultivo, significa que houve um aumento da energia potencial, e quando há o aumento da velocidade há o aumento da energia cinética da água, na aquicultura as bombas são empregadas normalmente para aumentar a pressão do sistema, deslocando, desse modo, a água (LEKANG, 2013b).

4.3.1.2 Filtros mecânicos

Os filtros mecânicos consistem na separação de partículas maiores que a água, obstruindo-se o fluxo de água, com uso de uma tela ou cremalheira de barra, as partículas maiores que a abertura de telas ou da distância entre as barras, ficará retida (LEKANG, 2013c).

4.3.1.3 Filtros biológicos

O biofiltro consiste basicamente em um dispositivo ou câmara, que apresenta algum tipo de substrato, para favorecer o crescimento das bactérias aeróbicas, modificando a forma de como o nitrogênio se encontra na água, apresentando a função de converter a amônia em nitrato (NO_3^-), se dando da seguinte maneira, primeiro as bactérias *Nitrosomonas* convertem amônia em nitrito (NO_2^-) (também é tóxico), posteriormente as bactérias, *Nitrobacter*, transformam o nitrito em nitrato.

Há vários meios de biofiltro utilizados, como o uso de bolas de plástico, anéis de plástico, sucata de PVC e folhas de fibras de vidro (STICKNEY, 2005). De acordo com a construção do biofiltro o qual o biofilme será estabelecido, pode-se classificar os biofiltros em: a) sistema com fluxo contínuo; b) biorreator; c) meio fluido e d) filtros granulares (LEKANG, 2013d).

4.3.1.4 Aeração

A oxigenação é realizada tanto para inserir gases no sistema (O_2) e ou para remover gases em concentrações demasiada, como o nitrogênio (N_2) e (CO_2) (LEKANG, 2013e). As fontes de ar empregadas na aquicultura são geralmente compostas de sopradores, bombas de ar, compressores (TIMMONS; EBELING, 2013b). Sendo que o compressor de ar é considerado a unidade básica, sendo que o ar é inserido na água por intermédio de material poroso ou tubos perfurados alocados no fundo do viveiro (PILLAY; KUTTY, 2005b).

4.4 Aquaponia

A aquaponia pode ser considerada como uma reestruturação da antiga técnica de produção asteca denominada “chinampas”, com relatos de aproximadamente 1400 D. C., a qual consistia em ilhas artificiais de substratos que eram utilizadas para produção vegetal e fertilizada pelo uso da água dos peixes (ALCANTUD & CUELLO, 1992).

É um modo de produção multitrófico que combina a atividade da aquicultura empregada em recirculação de água, com a hidroponia (produção de plantas com suas raízes em contato com a água). Portanto, a aquaponia consiste em um sistema integrado de produção, beneficiando plantas e animais aquícolas (RAKOCY; MCGINTY, 1989; RAKOCY et al., 2004; PINHEIRO, 2015; CARNEIRO et al., 2015).

O uso desse sistema tem sido recomendado como alternativa para controlar o acúmulo de nutrientes e resíduos oriundos da piscicultura. O funcionamento da aquaponia fundamenta-se na ciclagem do nitrogênio, em que os resíduos gerados são transformados em nutrientes para os vegetais por intermédio da atividade de bactérias. Essa relação propicia o melhoramento das duas atividades: aquicultura e hidroponia, reduzindo-se a quantidade de água utilizada na produção, e disponibilizando a produção de outras culturas agrícolas com valor econômico agregado, com alta qualidade comercial (RAKOCY; HARGREAVES, 1993; DEDIU; CRISTEA; XIAOSHUAN, 2011; HUSSAIN et al., 2014).

A integração desse sistema traz benefícios ambientais como o tratamento de efluentes, melhorando a qualidade de água do sistema, evitando o lançamento de efluentes muito danosos ao meio ambiente, conferindo a aquaponia o reconhecimento de ser uma atividade sustentável, ganhando status de atividade ambientalmente menos impactante ao meio ambiente (RAKOCY; HARGRAVES, 1993; DIVER, 2006).

A prática da aquicultura e hidroponia são atividades desenvolvidas há mais de cinquenta anos, entretanto a aquaponia só apresentou resultados expressivos na última década relacionadas a produção científica no exterior, com destaque para os estudos realizados por

pesquisadores dos EUA, na Universidade das Ilhas Virgens (RAKOCY; LOSORDO; MASSER, 2006).

A aquaponia no Brasil apresenta-se pouco difundida, mas há grande expectativa de em um futuro próximo se tornar, uma atividade bastante popular, fato evidenciado pelo rápido desenvolvimento dessa atividade nos últimos dez anos, impulsionada pelas características sustentáveis (baixo consumo de água e tratamento e ou minimização de lançamentos de efluentes) e sociais (produção de duas fontes de alimentos com elevado teor nutricional, sendo uma alternativa para populações de baixa renda) mas, para isso, deve-se ter conhecimentos específicos para seu correto funcionamento, como a compreensão dos elementos biológicos empregados no sistema, seja para uso comercial, doméstico ou educacional (BLIDARIU; GROZEA, 2011; HU et al., 2012; LLAURADÓ et al., 2014; CARNEIRO et al., 2015).

Apesar da aquaponia ainda ser pouca difundida no Brasil, há incentivos para a sua prática, a qual está exposta no projeto de Lei do Senado nº 162, de 2015, que recomenda o uso desse sistema de produção, pelo uso integrado e sustentável dos recursos hídricos na aquicultura e agricultura, por intermédio de benefícios, tais como: possibilitando fomentos ao acesso de mercados institucionais e créditos bancários, e isenção de impostos.

4.3.1 Caracterização do sistema de aquaponia

O sistema de aquaponia é reconhecido como um modo de produção, o qual tenta reproduzir o meio natural, pois emprega o ciclo natural das bactérias para aproveitar os resíduos liberados pelos peixes em nutrientes necessários para os vegetais, sendo, desse modo, um sistema ambientalmente ecológico em que os alimentos apresentam um crescimento natural, herdando as melhores características da aquicultura e da agricultura, evitando o desperdício de água, fertilizantes químicos (BERNSTEIN, 2011).

4.3.2 Componentes biológicos

O insumo mais importante do sistema de aquaponia é o fornecimento de ração, pois quando os peixes se alimentarem e a digerirem, produzem excreções que são ricas em amônia que posteriormente serão convertidas em nutrientes pela ação das bactérias.

Nesse sistema os peixes, vegetais e bactérias, se relacionam nos ciclos biológicos naturais, no qual as bactérias se destacam promovendo a nitrificação, como as bactérias nitrificantes dos gêneros nitrosomonas e nitrobacter, sendo as nitrosomonas responsáveis por realizar a conversão da amônia (NH_3), que é tóxica para os peixes, para nitrito (NO_2^-) e a nitrobacter da conversão anterior para nitrato (NO_3^-), sendo o nitrogênio assimilável pelas plantas, para tal realizam a filtragem biológica da água, garantindo condições favoráveis para

o desenvolvimento dos peixes (TYSON; TREADWELL; SIMONNE, 2011; CARNEIRO et al., 2015).

As bactérias presentes no sistema ocorrem de forma natural ou podem ser estimuladas no sistema, e necessitam de um manejo e compreensão de suas colônias dada a importância da conversão da amônia a nitrito, geralmente aguarda-se de 20 a 40 dias após a adição dos peixes, para que o ciclo de nitrificação seja equilibrado, para que se inicie a adição das plantas no sistema (TOKUYAMA et al., 2004).

A colonização, pode interferir no pH, deixando o meio acidificado, visando não alterar o funcionamento do filtro biológico, recomenda-se uso de substância tamponante para a correção e estabilização do pH, que pode ser a base de potássio (K) e cálcio (Ca) ou ainda o bicarbonato de potássio KHCO_3 ou calcário dolomítico $\text{CaMg}(\text{CO}_3)$, são mais baratos e auxiliam no suprimento de nutrientes para as plantas (CARNEIRO et al., 2015).

O conhecimento das necessidades dos organismos inseridos no sistema é de suma importância, para um favorável funcionamento da aquaponia. E o ponto crítico da aquaponia é o pH, recomenda-se que o pH varie entre 6,5 e 7,0, sendo que as bactérias nitrificantes como pH ótimo entre 7,0 e 8,0, na hidroponia as plantas comumente apresentam um crescimento melhor em um intervalo entre 5,5 e 6,5, e peixes de água doce de importância econômica, com pH recomendado entre 7,0 e 9,0 (BRAZ FILHO, 2000).

De acordo com Carneiro et al., (2015), o ideal é manter o pH do sistema entre 6,5 e 7,0, de forma a atender o mínimo das necessidades dos organismos na aquaponia, como envolve diferentes organismos, sendo o monitoramento da qualidade da água fator importante para o cultivo desses animais.

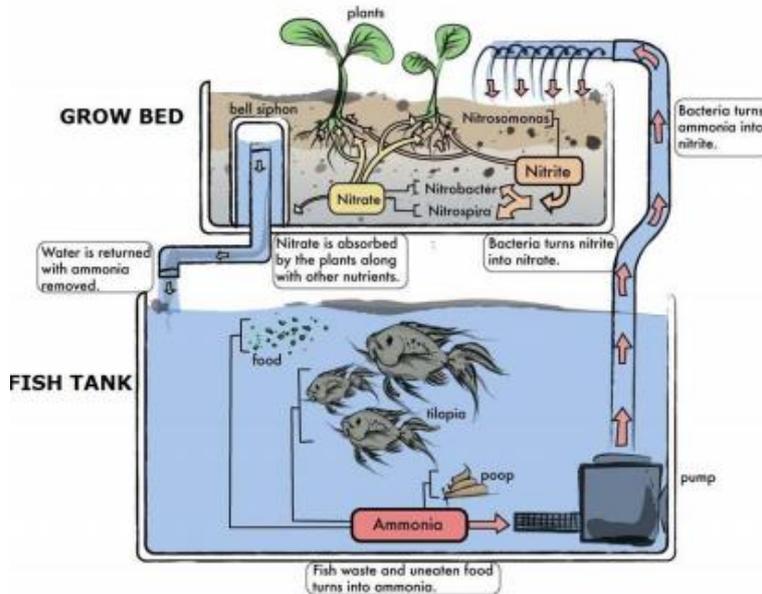
4.3.3 Componentes físicos

Na montagem do sistema de aquaponia, utiliza-se diferentes materiais duráveis e resistentes, como: fibra, plástico, geomembrana etc., e de variados tamanhos e formas, podendo ser quadrados, retangulares, circulares, octogonais, dentre outros, variando de acordo com a espécie e a densidade utilizada, os sistemas hidropônicos (ambiente onde ficam distribuídas as plantas em contato com a água) também detém as mesmas possibilidades, por mais diversos que podem ser (RAKOCY; LOSORDO; MASSER, 2006; EMERENCIANO et al., 2015; PINHEIRO, 2015), sendo importante conhecer qual vegetal será cultivado, direcionando qual ambiente de cultivo é mais adequado.

As principais estruturas hidropônicas utilizadas, são de três tipos, 1) Cultivo em sistema com substrato (Figura 1), 2) Cultivo em canaletas ou NFT (Nutrient Film Technique) e 3)

Cultivo em placas flutuantes (Floating Raft System) (LENNARD; LEONARD, 2004; EMERENCIANO et al., 2015).

Figura 1: Funcionamento esquematizado de um sistema de aquaponia (cama com substrato).



Fonte: Aquaponics Philippines

4.3.3.1 Cultivo em sistema com substrato (Media Filled Growbed)

Esse tipo de produção é o mais popular pela praticidade e funcionalidade, é recomendado para cultivo de peixes com baixa densidade. O cultivo de plantas nesse sistema consiste na utilização de estruturas inundadas denominadas camas, com água da piscicultura, tendo a função de filtro biológico e mecânico. A estrutura é composta de substratos, que podem ser diversos (seixo rolado, areia, caco de telha, brita, entre outros), apresentando funções como: suporte para a fixação das plantas e como filtro biológico, onde os substratos inertes (argila expandida, pedra brita, areia grossa, rochas vulcânicas, entre outros) servem de ambiente para aderência das colônias das bactérias nitrificantes e desenvolvimento das raízes das plantas (SOMERVILLE et al., 2014; CARNEIRO et al., 2015).

A funcionalidade desse sistema baseia-se na questão do bombeamento da água da piscicultura para o cultivo dos vegetais, de forma que seja distribuída homogênea nas camas de cultivo e seu retorno é realizado por gravidade com uso de sifão que possibilita o enchimento e esvaziamento do sistema, importante por permitir uma oxigenação constante e uniforme, nas raízes dos vegetais e nas colônias de bactérias (SOMERVILLE et al., 2014; CARNEIRO et al., 2015).

4.3.3.2 Cultivo em canaletas ou NFT (Nutrient Film Technique)

O sistema de canaletas usa tubos horizontais cada um tem um fluxo laminar de água, onde as raízes das plantas são colocadas em canaletas, recebendo nutrientes advindos do cultivo de peixes, as canaletas ficam dispostas em bancada na altura da cintura, facilitando as atividades de manejo, como colheita e limpeza (SOMERVILLE et al., 2014; CARNEIRO et al., 2015).

As canaletas são de PVC, dispostas paralelamente com desnível de inclinação de 1 cm a cada metro, para permitir de acordo com a gravidade que a água percorra dentro de cano de uma ponta a outra, fazendo que todas as raízes das plantas recebam a água com nutrientes. A extensão total do cano não deve ultrapassar 12 metros, para que plantas que ficam distantes da origem de descarga da água com nutrientes receba ou consiga absorver nutrientes (SOMERVILLE et al., 2014; CARNEIRO et al., 2015).

As plantas classificadas como folhosas, como: alface, rúcula, outras; seu uso é recomendado nesse sistema pela praticidade da colheita e importância comercial, a vantagem desse sistema com o anterior é a não necessidade de lavagem após a colheita, pois as raízes encontram-se sempre limpas, com isso reduz gastos com mão de obra (CARNEIRO et al., 2015). O espaçamento de um vegetal para outro é de acordo com o tipo desse vegetal, se frutíferos o espaçamento é maior, enquanto folhosos a distância é só para não manter contato entre os vegetais (COOPER, 1979).

Nesse sistema é imprescindível o uso separadamente de filtro biológico para impedir que as partículas sólidas em suspensão não sejam fixadas pelas raízes dos vegetais pois caso ocorra, obstruem e dificultam a absorção dos nutrientes e evitar, com o acúmulo de sedimentos, a ocorrência de locais onde impossibilita a oxigenação importante para a nitrificação (RAKOCY; LOSORDO; MASSER, 2006; CARNEIRO et al., 2015).

4.3.3.3 Cultivo em placas flutuantes (Floating Raft System)

Nesse modo de produção não há a necessidade de utilizar substrato, pode ser praticado em canais longos, estreitos e rasos, ou mesmo no próprio tanque de cultivo dos peixes, é recomendado para produções de média e grande escala. O sistema é caracterizado por estruturas flutuantes (placas/bandejas/) como placas de isopor industrial, isopor comum ou madeira, fazendo orifícios nessas placas e colocando os vegetais entre si, de acordo com a particularidade de cada espécie, ficando as raízes submersas, o uso de aeração é necessário para manter elevado e homogêneo os níveis de oxigênio dissolvido no sistema, permitindo o bom funcionamento das atividades dos organismos presentes, nas paredes e fundo do sistema e nas raízes das plantas (CARNEIRO et al., 2015).

O uso de filtros biológicos e clarificadores se fazem necessário nesse sistema, pois os resíduos dos peixes podem agregar nas raízes das plantas e prejudicar a absorção de nutrientes, assim como obstruir tubulações prejudicando a qualidade de água, pois a água fica concentrada e aumenta a concentração de amônia e nitrito, recomenda-se também o uso de grandes volumes de água com nutrientes e monitoramento constante da qualidade de água (RAKOCY, LOSORDO; MASSER, 2006)

A vantagem desse sistema está relacionada com o uso de bandejas, pois estas favorecem a proteção da água contra a incidência de raios solares, evitando a proliferação de microalgas indesejadas, além de reduzir a evaporação da água e dar suporte para os vegetais (RAKOCY; LOSORDO; MASSER, 2006).

4.4 Tambaqui, *Colossoma macropomum*

Na seção a seguir consta a classificação da espécie.

4.4.1 Classificação sistemática

Atualmente a taxonomia da espécie *C. macropomum* é descrita da seguinte forma:

REINO: Animalia

FILO: Chordata

SUPERCLASSE: Pisces

CLASSE: Actinopterygii

ORDEM: Characiformes

FAMÍLIA: Characidae

GÊNERO: *Colossoma* (Eigenmann and Kennedy, 1903)

ESPÉCIE: *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818)

Fonte: Itis (2010); Nelson, Grande e Wilson (2016).

4.4.2 Caracterização da espécie

A espécie *C. macropomum* é conhecida popularmente, no Brasil, como tambaqui, apresentando outros nomes populares em outros países, como gamitana, no Peru, cachama ou cachama negra na Colômbia e na Venezuela, e quando traduzida para algumas regiões inglesas, fica como black pacu (ARAÚJO-LIMA, 1998; BALDISSEROTTO; GOMES, 2013).

No Brasil, o tambaqui é considerado um peixe amazônico de grande porte, podendo chegar até a 100 cm de comprimento padrão e pesar mais de 30 kg, conferindo a ele o status de ser o segundo maior peixe de escamas da América do Sul, o primeiro é o pirarucu. Apresenta

corpo romboidal, lábios grossos, dentes molariformes, e uma mancha escura do meio do corpo do animal, para a parte ventral (SANTOS, 2006).

Figura 2: Exemplar de *C. macropomum*.



Fonte: International Game Fish Association- IGFA

O tambaqui pode apresentar diferentes tonalidades, variando de acordo com distintos habitats, pois em ambientes de água escura e ambientes de água turva, apresenta tonalidades mais escuras e mais claras, respectivamente, fato considerado como estratégia ambiental de proteção, pois diminui a probabilidade de ataques de predadores diminuindo a capacidade visual de reconhecimento do tambaqui (GOULDING; CARVALHO, 1982; RUXTON, SPEED; KELLY, 2004).

A espécie é nativa da bacia amazônica, com distribuição natural nas bacias do rio Amazonas e Orinoco (GOMES et al., 2010). Como a distribuição é ampla na região tropical da América do sul como na Amazônia central, também é encontrado em rios de águas claras e negras, relacionadas a Amazônia peruana, fronteira Brasil – Peru – Colômbia e também são encontrados com frequência na parte oeste do rio Xingu, nas cabeceiras dos rios Madeira, Juruá, Purus e Iça (GOULDING, 1993; ARAÚJO-LIMA; GOULDING, 1998; CAROLSFELD et al., 2003; ARAÚJO-LIMA; GOMES, 2005; BARTHEM; GOULDING, 2007).

O tambaqui apresenta hábito, de acordo com que infere as estruturas do aparelho digestivo (SILVA, PEREIRA; OLIVEIRA-PEREIRA, 2003; DE ALMEIDA, LUNDSTEDT; MORAES, 2006). A sua alimentação oscila nas diferentes fases de vida, em ambiente natural, na fase larval, a alimentação é basicamente de zooplâncton, predando preferencialmente cladóceros e copépodos, buscando espécies com tamanhos maiores que 0,4 mm de largura, diferindo bruscamente para o consumo de invertebrados, na fase inicial (ARAÚJO-LIMA; GOULDING, 1997). Nas fases posteriores ao larval, os juvenis passam a ingerir pequenas

sementes, como o arroz silvestre e alguns frutos, a disponibilidade de sementes acontece ao acaso, junto com a frutificação e o desenvolvimento das larvas (GOMES et al., 2010).

Na fase adulta os animais se comportam mais como frutívoros, ingerindo sementes como a seringa barriguda (*Hevea spruceana*) e o capitari (*Tabebuia barbata*), disponíveis durante as enchentes e cheias dos rios, além de outras fontes energéticas, ficam entre as macrófitas aquáticas por até seis meses, aproximadamente, ou mais, e quando acontece a vazão e a seca, os animais realizam migrações, pois pode acontecer nesses locais baixa quantidade de alimento e ou baixas concentrações de oxigênio, nesse período quase não se alimentam, sobrevivendo das reservas energéticas adquiridas no período anterior. Essas mudanças de habitat, refletem na presença de variação de temperatura que é de 25 a 34°C (GOULDING, 1993; ARAÚJO-LIMA; GOULDING, 1998; COSTA, 1998; CAROLSFELD et al., 2003; ARAÚJO-LIMA; GOMES, 2005; REIS NETO, 2007; GOMES et al., 2010).

A maturação sexual da espécie ocorre a partir dos dois anos de idade em média, na mesma época de cheias dos rios. Para o sucesso reprodutivo realizam uma jornada de muitos percalços, pelo fato de serem reofílicos, necessitam percorrer longa distância para as cabeceiras dos rios entre as florestas e planícies inundadas, locomovem-se com certa dificuldade, pois há geralmente árvores caídas ao longo das costas, precisam passar esse obstáculo, para a reprodução, e a fecundação é externa e ocorre em ambientes com favorável carga de nutrientes, nas margens de rios (COSTA et al., 1999; CAROLSFELD et al., 2003; BALDISSEROTTO; GOMES, 2013).

4.4.3 Cultivo de tambaqui

A produção de tambaqui é segmentada geralmente em larvicultura, alevinagem e engorda. A duração da larvicultura ocorre durante o tempo de 30 a 45 dias, que inicia na eclosão até atingirem o peso médio individual de 0,5 a 1 g. Na alevinagem ou recria, a produção dura em torno de 60 dias (peixes de 40 a 50 g), e na fase de engorda, o tempo de duração é variável, pois é dependente do peso de abate e manejo. O ciclo de produção pode ser de 10 até 12 meses, e consegue-se chegar ao peso médio de venda de 1,8 kg a 3,1 kg (DAIRIKI et al., 2011; MELO et al., 2001).

O tambaqui pode ser produzido em distintos sistemas de criação, em viveiros escavados, barragens e tanques-rede. Existe a possibilidade de criação em SRA, para a fase de alevinagem, como demonstrado no estudo de Santos et al. (2021). O emprego de rações balanceadas em sistemas intensivos é fundamental para o sucesso da produção (DAIRIKI et al., 2011).

As características do tambaqui, que chamam atenção da aquicultura, são: fácil produção de formas jovens, crescimento rápido em cativeiro, resistência à hipóxia e elevadas temperaturas da água, rusticidade, fácil comercialização e valor considerável da sua carne (PAULA, 2009; MENDONÇA et al., 2009).

A produção de tambaqui em 2018 foi de 102.554,429 t ficando atrás somente da tilápia com 312.554,429 t, apesar de a produção do tambaqui ser a segunda mais produzida, e de apresentar cultivo considerável na região Norte do Brasil, sua produção encontra alguns gargalos, como a questão do licenciamento ambiental, notando-se uma redução na produção de peixes nativos nos últimos anos (IBGE, 2019c; PEIXE BR, 2018; 2020; 2021).

4.5 Uso de substratos

O emprego de substratos no cultivo de hortaliças, dispõe para as plantas um melhor estado fitossanitário, aumento da eficiência no emprego de irrigação e fertirrigação e eliminação de custos com o manejo do solo. Nos cultivos em substratos (maioria), a fertilização da planta é oriunda do sistema de fertirrigação, que se bem estruturada, beneficia o cultivo aumentando a produtividade e qualidade das hortaliças (KAWAKAMI et al., 2006).

O uso de substratos alternativos tem se mostrado eficientes, como o uso de esterco e húmus de minhoca (SANTOS et al., 2010), casca de arroz natural ou carbonizada, bagaços serragens, tortas, fibra ou pó da casca de coco (LÜDKE et al., 2008; SILVA et al., 2010).

O substrato ideal deve possuir, algumas características relevantes, tais como: porosidade maior que 85%, capacidade de aeração entre 10% e 30% e água assimilável de 20% a 30% (CARRIJO et al., 2002). As propriedades físicas de um substrato são importantes, pois o crescimento das raízes se dá em função dessas características (FERNANDES, 2005), substratos orgânicos apresentam como características físicas importantes a densidade, porosidade e a capacidade de retenção de água (ANDRIOLO, 1999; FERNANDES, 2005; PARDOSSI et al., 2011).

A densidade do substrato pode influenciar no crescimento de mudas e cultivo de diversas hortaliças (NASCIMENTO et al., 2004). A granulometria determina o volume de ar e a quantidade de água retida, quando se tem conhecimento da densidade e da granulometria do substrato, se presume que terá subsídios de que o substrato irá disponibilizar condições favoráveis para as raízes das plantas (WALLER & WILSON, 1984; LIZ & CARRIJO, 2008).

4.5.1 Uso de substratos em hidroponia e aquaponia

O cultivo de plantas na ausência de solo, necessita de substratos que possam prover o desenvolvimento radicular, e nutrientes necessários para as plantas, podendo ser naturais,

artificiais, líquido ou sólido, sendo mais adequado aquele substrato que for inerte quanto ao fornecimento de nutrientes, pH neutro, retenção de água e porosidade adequada para oxigenação das raízes, oferecer sustentação para a planta e proteger as raízes de possíveis danos físicos (RAVIV et al., 2002; SOMMERVILLE et al., 2014; GRUDA et al., 2016; SAVVAS & GRUDA, 2018), abaixo segue os principais utilizados:

Quadro 1: Alguns substratos utilizados em hidroponia e aquaponia.

Tipos de substratos	Principais características
Areia	É uma fração do solo, com partículas acima de 0,02 mm de diâmetro, podendo ser separada em areia grossa (0,2 a 2,0 mm), areia fina (0,02 a 0,2 mm), sendo a areia grossa a predileta para ser usada como substrato, apresenta densidade aparente é alta (1,80 g cm ⁻³), pode haver problemas de aeração quando se utiliza areia fina (RAVIV et al., 2002).
Lã de vidro	É muito leve e pode conter muita água e ar, seu diâmetro pode variar, podendo afetar a capacidade de retenção de água (RAVIV et al., 2002)
Lã mineral	É um material leve artificial e inerte, normalmente é usado como placas ou blocos de fibras conectadas, mas também pode ser encontrado na forma granulada, o grande problema desse substrato está relacionado à questão ambiental de seu descarte (RAVIV et al., 2002).
Fibra de coco	Material constituinte das camadas intermediárias ou mesocarpo dos frutos do coco. É um material abundante principalmente em países tropicais e subtropicais, seu peso é leve, boa retenção de água. Pode haver altos níveis de sais (GRUDA et al., 2016)
Perlita expandida	A perlita expandida é obtida pelo aquecimento, varia em diversos tamanhos, a maioria sendo de 0-2 e 1,5-3,0 mm de diâmetro, é muito leve com uma densidade de partícula de 0,9 e 0,1 g cm ⁻³ , muito poroso pode reter 3 a 4 vezes o peso da água (RAVIV et al., 2002).
Cascalho vulcânico	Substrato mais popular, devido ter uma alta área de superfície em relação ao volume, barato e fácil de adquirir, quase quimicamente inerte, quando lavado, somente há pequenas liberações de microelementos, como ferro, magnésio..., no início (SOMERVILLE et al., 2014).

Calcário	É uma rocha sedimentar, não muito recomendável como substrato, apesar de ser comumente empregado, devido ter uma superfície inferior (relação área/volume), ser pesado e não quimicamente inerte, e pode interferir na qualidade de água (SOMERVILLE et al., 2014).
Agregado de argila expandida leve	Consiste em agregados de seixos de argila expandida, são redondos e muito leves em comparação a outros substratos, a desvantagem é que pode ser relativamente caro e não estar disponível em todo o mundo (SOMERVILLE et al., 2014).
Turfa	É resultante da decomposição de plantas, que variam em grau de composição, sendo de 3 tipos: turfa leve, turfa escura e turfa negra. A turfa apresenta boa retenção de ar e água, estabilidade física, peso leve, há preocupações ambientais com sua contribuição para a liberação de CO ₂ (RAVIV et al., 2002; GRUDA et al., 2016)

Fonte: Literaturas empregadas

Os materiais orgânicos podem corresponder a um papel relevante na redução da pegada de carbono, da indústria hortícola, substituindo os substratos à base de turfa, alguns materiais como compostos, fibras de coco, cascas e fibras de madeira, estão sendo empregados como alternativa à turfa, dada que a mesma apresenta problemas para o meio ambiente (RAVIV et al., 2002; GRUDA, 2012; GRUDA et al., 2016).

O tipo de substrato utilizado é de significativa importância para a produção de plantas, favorecendo uma boa germinação e desenvolvimento uniforme, fica menos vulnerável aos estresses ambientais, apresentando estandes de produção mais homogêneos (FERREIRA et al., 2013).

Os trabalhos com diferentes empregos de substratos em sistema de aquaponia, normalmente usaram cascalhos, com boa capacidade filtrante (LIMA et al., 2019b), substratos compostos de brita 01, o sistema apresentou eficiência no tratamento da água (LIMA & BASTOS, 2020a). Lima e Bastos (2020b), recomendam o uso de argila expandida em seu trabalho, Nakauth et al. (2020) ao sugerir o uso de dupla camada de brita e caco de telhas/tijolos, em aquaponia, bom desempenho para os vegetais, mas baixo desempenho para o peixe, se comparado a sistemas convencionais. Em aquaponia verticalizada os substratos de fibra de coco e lã mineral foram considerados os melhores substratos (KHANDAKER & KOTZEN, 2018).

Em hidroponia, a avaliação de dois sistemas (base móvel vs flutuante) e tipo de substrato (argila expandida versus areia), observou-se que nem o sistema hidropônico e nem o substrato influenciaram o peso de massa fresca ou absorção de N, a argila expandida forneceu uma produção de matéria seca significativamente maior do que a areia. O substrato não influenciou o conteúdo de clorofila e carotenóides, as plantas no leito de areia demonstraram um conteúdo significativamente mais alto do que as plantas cultivadas no sistema flutuante (BUHMANN et al., 2015).

4.6 Açaí

A palmeira do açaizeiro, *Euterpe oleracea* Mart, pertencente à família Arecaceae, é nativa da Amazônia, geralmente os açaizeiros ocorrem de maneira agregada e em área de várzea, originando os açaizais (CRUZ JUNIOR, 2016), podem chegar à altura de 25 m e diâmetro de caule de até 25 cm. Apresenta papel socioeconômico-ambiental para a região (GASPARINI et al., 2015), é totalmente aproveitada pelos habitantes, por exemplo: folhas usadas para a cobertura de casas e confecção de chapéus (JARDIM; ANDERSON, 1987; PIVETTA; LUZ, 2013), mas o destaque é a produção dos frutos e palmito (JARDIM; ANDERSON, 1987).

A produção dos frutos do açaizeiro varia em detrimento de fatores bióticos e abióticos, normalmente as touceiras apresentam vários estipes, com produção de 5 a 8 cachos por ano, para cada estipe (RECH, 2014), a maior produção se dá no período menos chuvoso, entre os meses de julho e dezembro, na região de Belém, entretanto, na região de Macapá, a maior produção ocorre na época de maior precipitação (primeiro semestre) (QUEIROZ, 2004; SIQUEIRA; FISCH, 2013).

Os frutos do açaí se caracterizam por ser do tipo baga, com 1 a 1,5 cm de diâmetro, cor violácea, apresentando, no decorrer do amadurecimento variações de verde para o roxo (BICUDO et al., 2014), apresentam formato arredondado, com peso de aproximadamente 2 gramas, sendo 17% do fruto comestível (polpa e casca), para a produção de litro de suco de açaí, são necessários dois quilos de frutos, restando o caroço com a semente oleaginosa (SANTOS et al., 2008; HOMMA, 2014).

A produção da polpa acrescida de água (açaí), é um alimento bastante apreciado na região Amazônica e com crescimento para o mercado nacional e internacional (HOMMA, 2014), observando-se emprego na elaboração de bebidas que são exportadas para países da Europa, Estados Unidos, Japão e China, tidas como bebidas energéticas (YAMAGUCHI et al.,

2015), podendo-se fabricar outros produtos com o açaí como: sorvetes, doces, licores, néctares e geléias (PADILHA et al., 2006).

O fruto do açaí, além de ser reconhecido pelas suas propriedades nutricionais, como: alto percentual de lipídeos, minerais (potássio, cálcio, magnésio, cobre, manganês), vitaminas (E e B1), fibras, antocianinas, e alto teor energético (SCHAUSS et al., 2006; KANG et al., 2010; GASPARINI et al., 2015). Há estudos que buscam valorizar ainda mais esse fruto, como o conhecimento da sua ação antioxidante (NASCIMENTO et al., 2016), anti-inflamatória (KANG et al., 2011).

Essa agregação de valor, associado noção de ser um produto que não utiliza agroquímicos e práticas agrícolas que impactem negativamente o meio ambiente, impulsionam o seu consumo, levando a indústria de polpas de frutas a buscar alternativas que atendam o mercado nacional e internacional (SOARES E PORTO, 2007; NOGUEIRA; SANTANA, 2016).

Logo, o aumento da produção e consumo de açaí na região Amazônica e no Brasil, promovem também o aumento da quantidade de resíduos oriundos da atividade, como os caroços, que geralmente são descartados de forma inapropriada no meio ambiente, sem tratamento prévio, em ruas, lixões e em margens de rios, resultando no aumento da Demanda Bioquímica de Oxigênio e na eutrofização de mananciais (MARANHO E PAIVA, 2012; ALMEIDA et al., 2017). Considerando que, na cadeia produtiva da polpa de açaí, somente 15% é beneficiado (polpa), e restante (85%), se refere aos caroços e fibras, tidos com rejeitos orgânicos, e são descartados (ALMEIDA et al., 2017).

4.6.1 Usos gerais do resíduo de açaí

A semente do açaí é oleaginosa, constituída de um endosperma pequeno e sólido que se liga a um tegumento, sendo geralmente, durante a maturidade rico em celulose (53,20%), hemicelulose (12,26%) e lignina (22,30%) (RODRÍGUEZ-ZÚÑIGA et al., 2008). A seguir estão algumas possibilidades de aplicação do resíduo do açaí.

O emprego na construção civil é verificado em produção de telhas (FRAGOSO et al., 2014), cinzas de caroço em cerâmicas estruturais (MARINS et al., 2014), fibras de açaí na indústria de aglomerados de partículas (MESQUITA, 2018), e em compósitos cimentícios, reforçados com fibra de açaí, verificado um incremento satisfatório na resistência à tração (LIMA JR, 2007).

Na saúde, Nascimento et al. (2016), verificaram efeitos anticarcinogênicos, usando extrato do caroço do açaí. Silveira (2012), avaliaram o uso do caroço para formação de polioli

e poliuretano, para a confecção de próteses de biomaterial sintético. Na nutrição humana, Lima et al., (2014), elaboraram um tipo de farinha do caroço e verificaram o alto nível de fibra alimentar, ácido oleico, ácido linoléico, minerais e capacidade de emulsionar e absorver gordura.

A utilização de caroço para a formulação de carvão ativado, demonstrou capacidade filtrante eficiente da água para o consumo humano (PEREIRA; RODRIGUEZ JUNIOR, 2013), também apresentou resultados satisfatórios para uso como mídia alternativa em biofiltros em sistema de recirculação de água (ROCHA, 2019). E como carvão vegetal para a retirada de metais pesados em águas superficiais (PEREIRA et al., 2014).

4.6.1.1 Caroço de açaí como substrato

O caroço de açaí triturado fresco foi avaliado para a formulação de substrato para a produção de mudas em solo de hortaliças brássicas (couve-flor, repolho e couve), no entanto, seu uso se mostrou inviável, pois observou-se maior mortalidade, crescimento e desenvolvimento menor das mudas. Mas quando o resíduo passou por processos de compostagem, carbonização e pré-fermentação pode ser necessário para permitir a estabilização e aproveitamento do material, e conseqüentemente para a geração de substrato próprio para a produção de mudas (ERLACHER et al., 2014a).

A utilização do caroço (endocarpos e amêndoas), ao passarem pelo processo de decomposição e utilizados como matéria orgânica, são considerados como bons adubos para o cultivo de hortaliças e plantas ornamentais (CUNHA, 2005). No estudo de Jacaranda et al. (2015), empregou-se a compostagem no caroço de açaí triturado e não triturado, junto com esterco, e o resultado adquirido foi o maior rendimento para o composto gerado, seja em base de massa como volume, para o tratamento no caroço triturado.

O crescimento de mudas de pau de rosa (*Physocalymma scaberrimum*), foi positivo e apresentaram os melhores resultados relacionados com as características das mudas, quando foram cultivadas em substratos contendo 100% de resíduos de açaí (MARANHO E PAIVA, 2012).

A avaliação da emergência de plântulas de supiarana (*Alchornea discolor*) foram positivamente influenciadas pela utilização do resíduo do açaí (MARANHO E PAIVA, 2011). Os resultados do estudo de Erlacher et al. (2014b), apresentaram maior crescimento para mudas de tomate e quiabo, ao se empregar substrato formulado com 75% de caroço de açaí triturado e fermentado, mais 25% de substrato comercial.

No estudo de Araújo Neto et al. (2009), o uso de substrato feito com o caroço de açaí triturado e fresco, apresentou os piores resultados para as mudas, devido a uma possível

fermentação do material. Resultados diferentes foram encontrados no trabalho de Erlacher et al. (2016), que notaram que mudas de repolho e rúcula, apresentaram maior número de folhas, área foliar, altura de planta, massa fresca e seca da parte aérea e das raízes.

As alternativas de usos dos resíduos da cadeia produtiva do açaí, tem sido alvo de pesquisas, sendo uma de suas vertentes sobre seu uso na agricultura, geralmente para a produção de mudas (TEIXEIRA et al., 2004), no entanto o uso na aquaponia até a presente revisão, é inexistente.

7 REFERÊNCIAS

- ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M.; GOULDING, M. 1997. **So fruitful fish: ecology, conservation, and aquaculture of the Amazon's Tambaqui**, New York: Columbia University, 157p.
- ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: Ed. UFSM, 1999. 142 p.
- ARAÚJO-LIMA, C.A.R.M.; GOULDING, M. **Os frutos do tambaqui: ecologia, conservação e cultivo na Amazônia**. 1 ed. Tefé, AM: Sociedade Civil Mamirauá, 1998.
- ARAÚJO-LIMA, C.A.R.M.; GOMES, L.C. Tambaqui (*Colossoma macropomum*). In: BALDISSEROTTO, B. & GOMES, L. C. **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. ed 2, Santa Maria, 2005. p. 175-202.
- ARAÚJO NETO, S. E., AZEVEDO, J. M. A., GALVÃO, R. O., OLIVEIRA, E. B. L., & FERREIRA, R. L. F. (2009). substratos para produção de mudas de quiabo e tomate. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, 4, 93 – 100.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA - ANVISA. **Reavaliação de agrotóxicos: 10 anos de proteção a população**. Anvisa Publica – Notícias da Anvisa (online), Brasília, 2 de abril de 2011.
- AZEVEDO, V. G.; NETO, H. G.; ALMEIDA, H. L. P. S.; SANCHES, E. G. **Sistema de Recirculação para cultivo de peixes marinhos – Procedimento Operacional Padrão (POP)**. Núcleo de pesquisa e Desenvolvimento do Litoral Norte, Ubatuba, SP, 2014. 13p.
- ALMEIDA, A. V. C.; MELO, I. M.; PINHEIRO, I. S.; FREITAS, J. F.; MELO, A. C. S. Revalorização do caroço de açaí em uma beneficiadora de polpas do município de Ananindeua/PA: proposta de estruturação de um canal reverso orientado pela PNRS e logística reversa. **GEPROS**, Bauru, ano 12, nº 3, jul-set. 2017. <https://doi.org/10.15675/gepros.v12i3.1668>
- BRAZ FILHO, M. S. P. **Qualidade na produção de peixes em sistema de recirculação de água**. 2000. 41 f. monografia (especialização) – Centro Universitario Nove de Julho, São Paulo, 2000.
- BARTHEM, R.; GOULDING, M. **Um ecossistema inesperado. A amazonia revelada pela pesca**. ISBN:978-9972-2912-4-1.2007.
- BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L.D.C. **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 2 ed. Santa Maria, RS: UFSM, 2013.
- BENICASA, M. M. P. (2003) **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: 305 FUNEP. 42p.
- BERNSTEIN, S. **Aquaponic gardening: step-by-step guide to raising vegetables and fish together**. 2nd ed. Gabriola Island: New Society Publishers, 2011.
- BLIDARIU, F., GROZEA, A. Increasing the economical efficiency and sustainability of indoor fish farming by means of aquaponics - Review. **Sci. Biotechnol**, v. 44, n. 2, p. 1–8, 2011.

BICUDO, M. O. P.; RIBANI, R. H.; BETA, T. Anthocyanins, Phenolic Acids and Antioxidant Properties of Juçara Fruits (*Euterpe edulis* M.) Along the On-tree Ripening Process. **Plant foods for human nutrition**, v. 69, n. 2, p. 142-147, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0406-0>.

BOARI, A. J.; et al. (2018). **Doenças em hortaliças cultivadas na Região Metropolitana de Belém**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacoes/doencas-em-hortalica-cultivadas-na-regiao-metropolitana-de-belem>>. Acesso em: 20 fev. 2021.

BOSCH, A.C.; O'NEILL, B.; SIGGE, G.O.; KERWATH, S.E.; HOFFMAN, L.C. 2015. "Heavy metals in marine fish meat and consumer health: A review", **Journal of the science of food and agriculture**, v.96, n. 1.

BUENO, R. J. **Manejo da criação**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Campos Iporá, Goiânia, p.12, 2012. Disponível em: http://www.ifgoiano.edu.br/ipora/imagens/stories/coordenacao/Bueno/3_Manejo_da_criacao.pdf. Acesso em: 26 de agosto de 2020.

BUHMANN, A. K.; WALLER, U.; WECKER, B.; PAPENBROCK, J. Optimization of culturing conditions and selection of species for the use of halophytes as biofilter for nutrient-rich saline water. **Agric. Water Manage.** 149:102-14, 2015.

CABRAL, M. G.; SANTOS, G. A.; SANCHES, S. B.; LIMA, W. L.; RODRIGUES, W. N. Avaliação de substratos alternativos para a produção de mudas de alface utilizados no sul do Estado do Espírito Santo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Mossoró, RN – Brasil; v.5, n.1, p. 43-48 jan/mar, 2011.

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibras da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF., v. 20, p. 533-536, 2002.

CHAGAS, E. C.; GOMES, L D. C.; JÚNIOR, H.M.; ROUBACH, R.; LOURENÇO, J. N. D. P. Desempenho de tabaqui cultivado em tanques-rede, em lagos de várzea, sob diferentes taxas de alimentação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 40, n. 8, p. 833-835, 2005.

CARNEIRO, F. et al. **Os impactos dos agrotóxicos na saúde, trabalho e ambiente no contexto do agronegócio no Brasil**. Rio de Janeiro: Abrasco, 2014.

CARNEIRO, P. C. F.; MARIA, A. N.; NUNES, M. U. C.; FUJIMOTO, R. Y. **Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais**. In: Tavares Dias, M.; Mariano, W. S. (Org.). *Aquicultura no Brasil: novas perspectivas*. 1 ed. São Carlos: Pedro e João, 2015, v. 2, p. 683-706.

CARNEIRO, P. C. F.; MORAIS, C. A. R. S.; NUNES, M. U. C. et al (2015) Produção integrada de peixes e vegetais em aquaponia. EMBRAPA Tabuleiros Costeiros, Aracaju.

CAROLSFELD, J.; HARVEY, B.; ROSS, C.; BAER, A. **Migratory fishes of South America**. 1 ed. Ottawa, CA: IDRC, 2003.

CARDOSO, F. B.; MARTINEZ, H. E. P.; SILVA, D. J. H.; MILAGRES, C. C.; BARBOSA, J. G. Yield and quality of tomato grown in a hydroponic system, with different planting densities and number of bunches per plant. **Pesq. Agropec. Trop.** Goiânia, v. 48, n. 4, p. 340-349, Oct./Dez. 2018.

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: fish culture production systems. **rev. Bras. Reprod. Anim.**, Belo Horizonte, v.30, n.3/4, p.86-99, maio, 2007.

CRISTALDO, H. **Amazônia perde 7.989 km² de floresta, maior desmatamento desde 2008.** Brasília - DF, 2017. Disponível em: <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2017-01/amazonia-perde-7989-km2-defloresta-maior-desmatamento-desde-2008>. Acesso em 13 jan. 2020.

COOPER, A. The ABC of NFT. Nutrient film technique. **The world's first method of crop production without a solid rooting medium.** Portland, USA, Intl Specialized Book Service Inc. 181 pp., 1979.

COSTA, L. R. F.; BARTHEM, R.; VILLACORTA-CORREA, M. A.; QUEIROZ, H. L.; CRAMPTON, W. G. R. Manejo da pesca do tambaqui (*Colossoma macropomum*) nos lagos de várzea da Estação Ecológica Mamirauá. In: QUEIROZ, H. L. & CRAMPTON, W. G. R. **Estratégias para manejo de recursos pesqueiros em Mamirauá.** ed 1, Brasília, 1999. p. 142-158.

COSTA, L. R. F. D. **Subsídios ao Manejo do Tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier, 1818) na várzea do Médio Solimões: pesca, dinâmica de população, estimativa de densidade e dispersão.** 1998. 76f. Mestrado - Instituto Nacional Pesquisas da Amazônia, Manaus, AM, 1998.

COSTA-PIERCE, BARRY A. Ecology as a paradigm for the future of aquaculture. In: COSTA-PIERCE, B. A. (Ed.). **Ecological Aquaculture: The Evolution of the Blue Revolution,** Blackwell Science, 2002, p. 339-372.

CORRÊA, A. L.; FERNANDES, M. D. C. D. A.; AGUIAR, L. A. D. **Produção de tomate sob manejo orgânico.** Niterói: Programa Rio Rural, 2012. 40p.

COWIE, S. **Brazil: experts warn of Bolsonaro threat to the Amazon.** Deutsche Welle, 2018. Disponível em: <https://www.dw.com/en/brazil-experts-warn-of-bolsonaro-threat-to-the-amazon/a-46068377>. Acesso em: 24 mar. 2020.

CUNHA, G.M. (2005). **AÇAÍ Unidade de Acesso a Mercados.** SEBRAE. Disponível em: <www.sebrae.org.br>. Acesso em 19 de fevereiro de 2021.

CRUZ JUNIOR, F. de O. **Caracterização morfológica e da produção de frutos de populações de açazeiros estabelecidas em Mazagão.** 2016. 80f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Amapá.

DAIRIKI, J.; SILVA, T. B. A. Revisão de literatura: exigências nutricionais do tambaqui – compilação de trabalhos, formulação de ração adequada e desafios futuros. – Manaus: Empresa

Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA Amazônia Ocidental, 2011.44 p. - (Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos; 91).

DE BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulture. **Acta Horticulturae, Wageningen**, v. 26, p. 37-44, 1972.

DE ALMEIDA, L.C.; LUNDSTEDT, L.M.; MORAES, G. Digestive enzyme responses of tambaqui (*Colossoma macropomum*) fed on different levels of protein and lipid. **Aquaculture Nutrition**. v. 12, n. 6, p. 443-450, 2006.

DEDIU, L.; CRISTEA, V.; XIAOSHUAN, Z. Waste production and valorization in a integrated aquaponic system with bester and lettuce. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n 9, p. 2349-2358, 2011.

DE FARIAS LIMA, J.; DUARTE, S. S.; BASTOS, A. M. et al. Performance of an aquaponics system using constructed semi-dry wetland with lettuce (*Lactuca sativa* L.) on treating wastewater of culture of Amazon River shrimp (*Macrobrachium amazonicum*). **Environ Sci Pollut Res** 26, 1347613488 (2019). <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04496-5>.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle.**, v. 36: p. 10-13, 1960.

DIVER, S. Aquaponics - Integration of Hydroponics with Aquaculture. **ATTRA**, p. 1-28, 2006.

EMERENCIANO, M. G. C. et al. Aquaponia: uma alternativa de diversificação na aquicultura. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 25, p. 24-35, 2015.

ERLACHER, W. A.; F. L. de OLIVEIRA, F. L. DE.; SILVA, D. M. N. DA.; SILVA, M. A. L. QUARESMA, and CHRISTO, B. F. Carvão de Açai triturado fresco na formulação de substrato para a produção de mudas de hortaliças brássicas. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, 10: 18. 2014a

ERLACHER, W. A.; OLIVEIRA, F. L. DE.; SILVA, D. M. N. DA.; QUARESMA, M. A. L.; SANTOS, D. A.; CHRISTO, B. F.; MENDES, T. P. Uso de carvão de açai triturado fermentado, para a formulação de substratos para produção de mudas de quiabo e tomate. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 4, n. 2, 2014b. <https://doi.org/10.21206/rbas.v4i2.263>.

EDWARDS, Peter. Aquaculture environment interactions: past, present and likely future trends, **Aquaculture**, v. 447, p. 2-14, 2015.

ERLACHER, W. A.; OLIVEIRA, F. L.; SILVA, D. M. N.; QUARESMA, M. A. L.; MENDES, T. P. Estratégias de uso de carvão de açai para formulação de substratos na produção de mudas de hortaliças. **Magistra**, v. 28, n. 1, p. 119-130, 2016.

FARIA, R. H. S. A.; MORAIS, M.; SORANNA, M. R. G. S.; SALLUM, W. B. Manual de criação de peixes em viveiros. Brasília – CODEVASF, ISBN 978-85-89503-13-6, CDU 636.98, 2013.

FALESI, L.A.; SANTANA, A.C.; SANTANA, Á.L. A dinâmica do mercado de frutas na mesorregião Nordeste Paraense, no período de 1985 a 2005. **Teoria e Evidência Econômica**, 16, pp. 9-22, 2010.

FAO. 2016a. **Report of the FAO technical workshop on advancing aquaponics: an efficient use of limited resources, Bogor, Indonesia, 23–26 November 2015**. FAO Fisheries and Aquaculture Report No. 1133. Rome, Italy. 71p. 2016.

FAO, (2018). (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Statistical Yearbook: World Food and Agriculture. FAO, Rome (Fonte: <http://www.fao.org>).

FAO. **The future of food and agriculture – Trends and challenges**. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2021.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019, SAVE FOOD: Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction. Disponível em: < <http://www.fao.org/save-food/resources/keyfindings/en/> >. Acesso em: 8 jan. 2021.

FRAGOSO, A. C. DE M. et al. **Minimização de impactos ambientais causados pelos caroços de açaí: o caso Telha Forte**. In: Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. 2014, Bento Gonçalves – RS. Anais. Bento Gonçalves – RS: Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2014. Disponível em Acesso em: 19/02/2021.

FERNANDES, C. **Produtividade e qualidade dos frutos do tomateiro do grupo cereja cultivado em substratos à base de areia**. Tese (Doutorado em Agronomia: Produção vegetal, UNESP-Jaboticabal), 2005. 95p.

FERREIRA, L.V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desmatamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos avançados**, vol.19, n. 53, p. 157-166, São Paulo, 2005.

FERREIRA, R. L.; FORTI, V. A.; SILVA, V. N.; MELLO, S. C. Temperatura inicial de germinação no desempenho de plântulas e mudas de tomate. **Ciência Rural**, v. 43, n. 7, jul, 2013.

FENG, S., FU, Q., 2013, “Expansion of global drylands under warming climate”, **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 13, pp. 10081-10094.

FILHO, M. S. P. B. **Qualidade na Produção de Peixes em Sistema de Recirculação de Água**. 2000. 42f. Monografia (Curso de Pós Graduação em Qualidade nas Empresas) Centro Universitário Nove de Julho, São Paulo.

FITZSIMMONS, K. M. **Extending the value of aquaculture effluents through sustainable agriculture practices**, p. 344-346. In: National Livestock, Poultry, and Aquaculture Waste Management. American Society of Agricultural and Biological Engineers Publication, 1992.

GRABER, A.; JUNGE, R. Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. **Desalination**, 246, 147–156, 2009.

GASPARINI, K. A. C.; DUARTE, S. F. M.; PASTRO, M. S.; LACERDA, L. C.; SANTOS, A. R. dos. Zoneamento agroclimático da cultura do açaí (Euterpe Oleracea Mart.) para o estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, 2015. 46, (4): 707-717.

GRUDA, N. Current and future perspective of growing media in Europe. **Acta Hort.** 960, p. 37-43, 2012.

GRUDA, N.; CARON, J.; PRASAD, M.; and MACHER, M. J. Growing media. In **Encyclopedia of Soil Sciences**, 3rd edn., R. Lal., ed. (CRC Press, Taylor & Francis Group), p. 1053-1058. 2016, <https://doi.org/10.1081/EESS3-120053784>.

GOULDING, M.; CARVALHO, M.L. Life history and management of the tambaqui (*Colossoma macropomum*, Characidae): an important amazonian food fish. **Revista Brasileira de Zoologia**. v. 1, n. 2, p. 107-133, 1982.

GOULDING, M. Flooded forests of the Amazon. **Scientific American**. v. 266, n. 3, p. 114-120, 1993.

GOMES, L. C.; SIMÕES, L. N.; ARAUJO-LIMA, C. A. R. M. 2010. Tambaqui (*Colossoma macropomum*). In: **Espécies Nativas para Piscicultura no Brasil**. Bernardo Baldisseroto e Levy de Carvalho Gomes (Org.). 2 ed. Editora UFSM. 608p.

GODDEK, S.; VERMEULEN, T.; Comparison of *Lactuca sativa* growth performance in conventional and RAS-based hydroponic systems. **Aquacult Int.** 26, 1377-1386 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10499-018-0293-8>.

HARGREAVES, J. A Photosynthetic suspended-growth systems in aquaculture. **Aquacultural Engineering**, p. 344-363, 2006. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em 25 de agosto de 2020.

HANCZ, C. Performance of the amazonian tambaqui, *Colossoma macropomum*, in pond polyculture. **Aquacultural Engineering**. v. 12, n. 4, p. 245-254, 1993.

HOMMA, A. K. O. Amazônia: como aproveitar os benefícios da destruição? **Estudos avançados**, v. 19, n. 54, p. 115-135, 2005.

HOMMA, A. K. O. **Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. 468p.

HOMMA, A. K. O.; SANTOS, J. C. dos; SENA, A. D. S.; MENEZES, A. J. E. de. **A Pequena produção na Amazônia: conflitos e oportunidades, quais os caminhos?**. Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2014.

HOMMA, A.K.O. **Extrativismo, biodiversidade e biopirataria na Amazônia**. Brasília: Embrapa, 2008.

HU, Z; LEE, J. W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; BROTTTO, A. C.; KHANAL, S. K.; 2015. Effect of plants species on nitrogen recovery in aquaponics. **Bioresour. Technol.** doi: 10.1016/j.biortech.2015.01.013.

HU, Z.; LEE, J.W.; CHANDRAN, K.; KIM, S.; KHANAL, S.K. 2012 Nitrous oxide (N₂O) emission from aquaculture: a review. **Environmental Science Technology** 46(12):6470–6480.

HUNTINGFORD, Felicity; KADRI, S.; JOBLING, M. Introduction: Aquaculture and Behaviour. In: Huntingford, Felicity; Jobling, M.; Kadri, S. (Ed.). **Aquaculture and Behavior**, Blackwell Publishing, 2012, p. 1-35.

HUNTER, M. C. et al. “**Agriculture in 2050: Recalibrating Targets for Sustainable Intensification.**” 67(4): 386–91. 2017.

HUSSAIN, T. et al. Optimizing Koi Carp, *Cyprinus carpio* var. Koi (Linnaeus, 1758), Stocking Density and Nutrient Recycling With Spinach in an Aquaponic System. **Journal Of The World Aquaculture Society**, v. 45, n. 6, p. 652-661, 2014.

HUANG, J.; JI, M.; XIE, Y.; WANG, S.; HE, Y.; RAN, J. 2016. “Global semi-arid climate change over last 60 years”, **Climate Dynamics**, v. 46, n. 3-4 (Fev), pp. 1131- 1150.

ITIS, I.T.I.S. **Integrated taxonomic information system on-line database**. Washington, DC. 2010. Disponível em: <https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=639908#null> Acesso em: 24 agosto. 2020.

IBGE. (2016). Produção da pecuária municipal. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro.

IBGE. 2019a. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Banco de Dados Agregados. Tabela 289: quantidade produzida e valor da produção na extração vegetal, por tipo de produto extrativo. [Rio de Janeiro]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/289#resultado>. Acesso em: 13 abr. 2021.

IBGE. 2019b. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Banco de Dados Agregados. Tabela 1613: área destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras permanentes. [Rio de Janeiro]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>. Acesso em: 13 abr. 2021.

IBGE. 2020. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Banco de Dados Agregados. Tabela 6588: série histórica da estimativa anual da área plantada, área colhida, produção e rendimento médio dos produtos das lavouras. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588>. Acesso em: 13 abr. 2021.

IBGE. 2019c. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Banco de Dados Agregados. Tabela 3940: produção da aquicultura, por tipo de produto. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940>. Acesso em: 15 abr. 2021.

ICHIHARA, S. M. **Desmatamento e recuperação de pastagens degradadas na região amazônica: uma abordagem através das análises de projetos**. 2003. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, University of São Paulo, Piracicaba, 2003.

ISMIÑO-ORBE, R.A., ARAÚJO-LIMA, C.A.R.M., GOMES, L.C. Excreção da amônia por tambaqui (*Colossoma macropomum*) de acordo com variações na temperatura e massa de peixe. **Êsq. Agropec. Bras.**, 38, 1243-1247. 2003.

IBRAHIM, M. A.; CASTRO, F. J.; OLIVEIRA, W. H. Qualidade da água e desempenho de juvenis de tambaqui criados em sistema de aquaponia. **In:** seminário de iniciação científica da universidade federal de tocantins, 2015, Câmpus de Araguaína, Gurupí e Palmas.

JARDIM, M.A.G.; ANDERSON, A.B. Manejo de populações nativas de açazeiro no estuário amazônico resultados preliminares. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 15, p.1-18, dez. 1987.

JACARANDA, D.; COSTA, J. S. S.; BORGES, W. L. Compostagem de resíduos orgânicos: avaliação de resíduos disponíveis no amapá. **IX Congresso Brasileiro de Agroecologia**. v.10, n. 3, p. 1-10, 2015.

JOBIM, P. F. C. et al., (2010). Existe uma associação entre mortalidade por câncer e uso de agrotóxicos? Uma contribuição ao debate. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 15, n. 1, p. 277-288, jan., 2010.

JORDAN, R. A.; GEISENHOF, L. O.; OLIVEIRA, F. C. de; SANTOS, R. C.; MARTINS, E. A. S. Yield of lettuce grown in aquaponic system using different substrates. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 27–31, 2018.

JORDAN et al. Produtividade de híbridos de tomate cultivados em aquaponia associada em sistema tipo floating. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.8198>.

KHANIZADEH, S.; FANOUS, M. A. Mathematical indices for comparing small fruit crops for harvest time and trait similarity. **Horticultural Science**, v.27. n.4, p.346- 348,1992.

KANG, J., Z. LI, T. WU, G. S. JESSEN, A. G. SCHAUSS, and X. WU. 2010. Anti-oxidant capacities of flavonoid compounds isolated from acai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). **Food Chemistry**, Barking, 122: 610-617.

KANG, J.; XIE, C.; LI, Z.; NAGARAJAN, S.; SCHAUSS, A.G.; WU, T.; WU, X. Flavonoids from açai (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp and their antioxidant and anti-inflammatory activities. **Food Chemistry**, v. 128, n. 1, p. 152-157, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.011>.

KAWAKAMI, F. P. C.; ARAUJO, J. A. C.; IUNCK, V.; FACTOR, T. L.; CORTEZ, G. E. P. Manejo da fertirrigação em função da condutividade elétrica da solução nutritiva drenada no cultivo de tomate cereja sob ambiente protegido. 2006. Disponível em: <http://www.abhorticultura.com.br/eventosxtrabalhos/ev_1/a116_t1201_comp.pdf>. Acesso em: 10 de fev. 2021.

KHANDAKER, M.; KOTZEN, B. The potential for combining living wall and vertical farming systems with aquaponics with special emphasis on substrates. **Aquaculture Research**., 1-15, 2018. DOI: 10.1111/are.13601.

KLEMENČIČ, A. K.; BULC, T. G. The use of vertical constructed wetland and ultrasound in aquaponic systems. **Environ Sci Pollut Res** 22(2):1420–1430. 2015. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3463-x>.

KUBITZA, F. Aquicultura no Brasil: conquistas e desafios. **Pan. Aquicultura**, 25(150):10- 23, 2015.

LAHSEN, M.; BUSTAMANTE, M.; DALLA-NORA, E. Undervaluing and overexploiting the Brazilian Cerrado at Our Peril. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development**, v. 58, n. 6, p. 4-15, 2016. DOI: 10.1080/00139157.2016.1229537.

LEKANG, Odd-Ivar. Ponds. In: LEKANG, Odd-Ivar (Ed.). **Aquaculture Engineering**. 2. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2013a. p. 239-248.

LEKANG, Odd-Ivar. Water transport. In: LEKANG, Odd-Ivar (Ed.). **Aquaculture Engineering**. 2. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2013b. p. 7-31.

LEKANG, Odd-Ivar. Removal of particles: traditional methods. In: LEKANG, Odd-Ivar (Ed.). **Aquaculture Engineering**. 2. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2013c. p. 50-65.

LEKANG, Odd-Ivar. Ammonia removal. In: LEKANG, Odd-Ivar (Ed.). **Aquaculture Engineering**. 2. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2013d. p. 179-189.

LEKANG, Odd-Ivar. Aeration and oxygenation. In: LEKANG, Odd-Ivar (Ed.). **Aquaculture Engineering**. 2. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2013e. p. 155-178.

LENNARD, W. A.; LEONARD, B. V. A comparison of reciprocating flow versus constant flow in an integrated, gravel bed, aquaponic test system. **Aquaculture International**, Dordrecht, v. 12, p. 539-553, 2004.

LENNARD, W.; GODDEK, S. Aquaponics: The Basics. In: GODDEK, S.; JOYCE, A.; KOTZEN, B.; BURNELL, G. M. (Org.) **Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future**. Gewerbestrasse: Springer, Cham, 2019, p. 619. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>.

LIMA JR. U. M. Fibras da semente do açaizeiro (*Euterpe oleracea* Mart.): avaliação quanto ao uso como reforço de compósitos fibrocimentícios... Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Universidade Pontifícia de Porto Alegre, Porto Alegre, 141 f. 2007.

LIMA, J. F.; DIAS, M. T.; YOSHIOKA, E. T. O.; SANTOS, E. F.; DUARTE, S. S.; BASTOS, A. M.; MONTAGNER, D. **Sistema fechado de recirculação para criação de peixes ou camarões de água-doce**. Amapá: Embrapa, 2015. 8p. (Embrapa Amapá. Comunicado Técnico, 136).

LIMA, S. DE C. E.; R DOS SANTOS, E.; E SMITH, R.; U DE OLIVEIRA SABAA-SRUR, A. Preparation and Characterization of the Nutritive Value of Flour Made from Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) Seeds. **The Natural Products Journal**, v. 4, n. 3, p. 224-228, 2014. <https://doi.org/10.2174/2210315504666141119223939>.

LIMA, C. S.; BOMFIM, M. A. D.; SIQUEIRA, J. C.; RIBEIRO, F. B.; LANNA, E. A. T. Crude protein levels in the diets of tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), fingerlings. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n.1, p.183 – 190, jan.2016.

LIMA, J. F.; MONTAGNER, D.; DUARTE, S. S. et al. Recirculating system using biological aerated filters on tambaqui fingerling farming. **Pesqui Agropecuária Bras** 54:54. (2019a) <https://doi.org/10.1590/s1678-3921.pab2019.v54.00294>.

LIMA, J. F.; DUARTE, S. S.; BASTOS, A. M.; CARVALHO, T. Performance of na aquaponics using constructed semi-dry wetland with lettuce (*Lactuca sativa* L.) on treating wastewater of culture of Amazon River shrimp (*Macrobrachium amazonicum*). **Environmental Science and Pollution Research**, (2019b). <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04496-5>.

LIMA, J. F.; BASTOS, A. M. **Aspectos limnológicos de uma aquaponia utilizando leitos semissecos sob diferentes cargas de nutrientes**. Boletim de pesquisa e desenvolvimento/Macapá: Embrapa, Amapá; ISSN 1517-4867, 108. (2020a). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/218913/1/CPAF-AP-2020-BPD-108-Aspectos-limnologicos.pdf>. Acesso em: 25 de mar. de 2021.

LIMA, J. F.; BASTOS, A. M. **Sistema de aquaponia com leito cultivado semisseco para recria de peixes redondos e cultivo de hortaliças**. Macapá: Embrapa Amapá. Circular técnica, 43, (2020b). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1127798>. Acesso em: 22 de mar. de 2021.

LIZ, R. S.; CARRIJO, O. A. **Substratos para produção de mudas e cultivo de hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças. 83p. 2008.

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde Debate**. Rio de Janeiro, v. 42, n. 117, p. 518-534, 2018.

LOPES, J. M.; SANTOS, A. S.; SILVA, R. R. S.; SOUSA, R. M.; FREITAS, J. R. B.; SILVA-MATOS, R.R.S.; SILVA, T. B. F.; PINTO, F. E. N.; & PEREIRA, A. M. (2018). Aquaponics: tambatinga production associated with lettuce cultivation. **Asian Academic Research Journal of Multidisciplinary**, 5, 213-223.

LOPES, J. C. O. **Técnico em agropecuária: piscicultura**. Floriano: EDUFPI, p.80, 2012. Disponível em: <http://200.17.98.44/pronatec/wpcontent/uploads/2013/06/Piscicultura.pdf>. Acesso em: 24 de agosto de 2020.

LÜDKE, I.; SOUZA, R. B.; BRAGA, D. O.; LIMA, JL & REZENDE FV (2008) Produção de mudas de pimentão em substrato a base de fibra de coco verde para agricultura orgânica. In: 4º Simpósio Nacional do Cerrado / 2º Simpósio Internacional Savanas Tropicais, Brasília. Anais, Embrapa Cerrados. p.01-06.

MARISCAL-LAGARDA, M. M.; PÁEZ-OSUNA, F.; ESQUER-MÉNDEZ, J. L.; GUERRERO-MONROY, I.; DEL VIVAR, A. R.; FÉLIX-GASTELUM, R. Integrated culture of white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) with low

salinity groundwater: management and production. **Aquaculture**, Amsterdam, v. 366-367, p. 76-84, 2012.

MARTINS, M. A.; MATTOSO, L. H. C.; PESSOA, J. D. C. Comportamento térmico e caracterização morfológica das fibras de mesocarpo e caroço do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 4, p. 1150-1157, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452009000400032>.

MARANHO, Á. S.; PAIVA, A. V. Produção de mudas de *Physocalymma scaberrium* em substratos compostos por diferentes porcentagens de resíduos orgânicos e açaí. **FLORESTA**, v. 42, n. 2, p. 399 - 408, 2012.

MARANHO, A. S., & PAIVA, A. V. (2011). Emergência de plântulas de supiarana (*Alchornea discolor* poepp.) em substrato composto por diferentes porcentagens de resíduo orgânico de açaí. **REVSBAU**, Piracicaba – SP, 6 (1), 85-98.

MARINS, L. F. B. et al. **INCORPORAÇÃO DA CINZA DO CAROÇO DE AÇAÍ EM FORMULAÇÕES DE CERÂMICA ESTRUTURAL**. 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2014.

MALTHUS, T., 1798, **An Essay on the Principle of Population**. ESP. Disponível em: < <http://www.esp.org/books/malthus/population/malthus.pdf> >. Acesso em: 8 de jan. de 2021.

MELO, L.A.S.; IZEL, A.C.U.; RODRIGUES, F.M. Criação de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em viveiros de argila/barragens no Estado do Amazonas. **Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos**. 1 ed. Manaus, AM: EMBRAPA, 2001.

MELO, P.S.; SELANI, M.M.; GONÇALVES, R.H.; DE OLIVEIRA PAULINO, J., MASSARIOLI, A.P.; DE ALENCAR, S.M. Açaí seeds: An unexplored agro-industrial residue as a potential source of lipids, fibers, and antioxidant phenolic compounds. *Ind. Crops Prod.* 161, 113204, 2021.

MENEZES, E.M.S.; TORRES, A.T.; SRUR, A.U.S. Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart) liofilizada. **Acta Amazônica**, v. 38, n.2, p. 311-316, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672008000200014>.

MESQUITA, I. B. S.; ALBURQUERQUE, D. P.; LUZ, A. L. S.; OLIVEIRA, L. S.; NETO, J. P. A.; REGO, F. C. CUNHA, I. C. M. Produção de mudas de alface com diferentes substratos em ambiente fechado. **Brazilian Journal Animal Environment Research**, v.2, n.4, p.1257-1263, jul/set. 2019.

MESQUITA, A. L.; BARRERO, N. G.; FIORELLI, J.; CHRISTOFORO, A. L.; DE FARIA, L. J. G.; LAHR, F. A. R. Eco-particleboard manufactured from chemically treated fibrous vascular tissue of acai (*Euterpe oleracea* Mart.) Fruit: A new alternative for the particleboard industry with its potential application in civil construction and furniture. **Industrial Crops and Products**, v. 112, p. 644-651, 2018. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2017.12.074>.

MORMEDE, S., DAVIES, I.M., 2001, “Heavy metal concentrations in commercial deep-sea fish from the Rockall Trough”, **Continental Shelf Research**, v. 21, n. 8-10 (Mai-Jun), pp. 899-916.

- MORAIS, C. A.; MORAIS, C. A. R. S.; FERNANDES, A. N. M.; & FUJIMOTO, R. Y. (2014). Produção de alface (*Lactuca sativa*) em sistema compacto de aquaponia contendo juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*). In: CONGRESSO AQUACIÊNCIA, 2014, Paraná. Anais... Foz do Iguaçu, Paraná.
- NAYLOR, R. L.; GOLDBURG, R. J.; PRIMAVERA, J. H.; KAUTSKY, N.; BEVERIDGE, M. C. M.; CLAY, J.; FOLKE, C.; LUBCHENCO, J. 2000. Effect of aquaculture on world fish supplies. **Nature**. 1017-24.
- NASCIMENTO, W. M.; ALVES, M. S. S.; GOMES, E. M. L. Produção de mudas de curcubitáceas em diferentes substratos. In ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 4., 2004. **ANAIS...** Viçosa, MG: UFV, 2004. p. 406.
- NAIKA, S.; JEUDE, J. V. L.; GOFFAU, M.; HILMI, M.; DAM, B. V. A cultura do tomate- produção, processamento e comercialização. **Agrodok** 17, 2006, 104p.
- NASCIMENTO, V. H. N. DO; LIMA, C. DOS S.; PAIXÃO, J. T. C.; FREITAS, J. J. DA S.; KIETZER, K. S. Antioxidant effects of açai seed (*Euterpe oleracea*) in anorexia-cachexia syndrome induced by Walker-256 tumor. **Acta cirurgica brasileira**, v. 31, n. 9, p. 597-601, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0102-865020160090000004>.
- NAKAUTH, R.F.; NAKAUTH, A. C. S. S.; NATIVIDADE, A. G.; GUIMARÃES, A. S.; RIBEIRO, A. L. Implantação de módulo doméstico de aquaponia. **Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFAM**. ISSN-E: 2238-4286, Vol. 14 - Nº 1 – junho, 2020.
- NELSON, J.S.; GRANDE, T.C.; WILSON, M.V. **Fishes of the World**. 16 ed. New Jersey, U.S.A.: John Wiley & Sons, Inc., 2016.
- NIETSCHKE, S. et al. Tratamentos físicos e químicos no crescimento de plântulas de pinheira. **Bragantia**, Campinas, v. 64. n. 3, p. 411-416. 2005.
- NOBRE, A.M.; ROBERTSON-ANDERSSON, D.; NEORI, A.; SANKAR, K. Ecological-economic assessment of aquaculture options: Comparison between abalone monoculture and integrated multi-trophic aquaculture of abalone and seaweeds. **Aquaculture** 2010, 306, 116–126.
- NOGUEIRA, A.K.M., SANTANA, A.C. DE. Benefícios socioeconômicos da adoção de novas tecnologias no cultivo do açai no Estado do Pará. **Revista Ceres**, v. 63, n. 1, 2016. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663010001>.
- NUNES, A. J. P. Carcinicultura. Um ano de mudanças, perdas e ganhos. **Panorama da Aquicultura**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 92, p. 26-33, dez. 2005. Bimestral. CD-ROM.
- OLIVEIRA JÚNIOR, A. de. **Alimento e fome: a contradição no processo do desenvolvimento da Amazônia**. 2010. 345 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido) - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

PADILHA, J. L., S. A. E. CANTO, and G. RENDEIRO. 2006. Avaliação do Potencial dos Carços de Açai para a Geração de Energia. **Braz. Soc. of Mechanical Sciences and Engineering** -- ABCM, Curitiba, Brasil. 5-8.

PARDOSSI, A.; CARMASSI, G.; DIARA, C.; INCROCCI, L.; MAGGINI, R.; MASSA, D. **Fertigation and Substrate Management in Closed Soilless Culture**. Pisa: DBPA. 63p. 2011.

PARKER, Rick. Sustainable Aquaculture and Aquaponics. In: Rick Parker (Ed.), **Aquaculture Science**, Delmar, Cengage Learning, 3. ed., 2012, p. 464-485.

PAULINO, R. R.; PEREIRA, R. T.; FONTES, T. V.; OLIVA-TELES, A.; PERES, H.; CARNEIRO, D. J.; ROSA, P. V. (2018) Optimal dietary linoleic acid to linolenic acid ratio improved fatty acid profile of the juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*). **Aquaculture** 488:9–16. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.01.014>.

PEREIRA, E. N.; RODRIGUES JUNIOR, V. C. **Carvão do caroço de açai (Euterpe oleracea) ativado quimicamente com hidróxido de sódio (NaOH) e sua eficiência no tratamento de água para o consumo**. 2013. 24 p. Relatório do Projeto de Pesquisa do Prêmio Jovem Cientista. Moju – PA. 2013.

PEREIRA, S. F. P.; MACIEL, A. E. S.; SANTOS, D. C.; OLIVEIRA, J. S. Remoção de metais de águas superficiais usando carvão vegetal de açai (*Euterpe oleracea* mart). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING AND TECHNOLOGY EDUCATION, 13, 2014. **Anais...** Guimarães (Portugal), 2014.

PEDROZA FILHO, M. X.; RODRIGUES, A. P. O.; REZENDE, F. P. **Dinâmica da produção de tambaqui e demais peixes redondos no Brasil**. Brasília, DF: CNA, 2016. Boletim Ativos Aquicultura. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/141367/1/CNPASA-2015-aa7.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2020.

PEIXE BR. **Anuário de produção**. Associação Brasileira de Piscicultores (ABP), v. 1, n. 1, p. 24-25, 2018. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/Anuario2018PeixeBR2018.pdf>. Acesso em: 10 de mar. de 2021.

PEIXE BR. **Anuário de produção**. Associação Brasileira de Piscicultores (ABP), 2020. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2020>. Acesso em: 28 de mar. de 2021.

PEIXE BR. **Anuário de produção**. Associação Brasileira de Pisciculturas (ABP), 2021. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/anuario-2021>. Acesso em: 28 de abr. de 2021.

PILLAY, T V R; KUTTY, M N. Sustainability and Environmental Management of Aquaculture. In: PILLAY, T V R; KUTTY, M N. **Aquaculture: principles and practices**. 2. ed. [s.l.]: Blackwell Publishing, 2005a. p. 311-320.

PILLAY, T. V. R.; KUTTY, M. N. Carps. In: PILLAY, T. V. R.; KUTTY, M. N. (Ed.). **Aquaculture: Principles and Practices**. 2. ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2005b. p. 321-351.

PINHEIRO, I.C. 2015 Produção da halófito *Sarcocornia ambigua* e *Litopenaeus vannamei* em sistema de aquaponia com bioflocos. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 48p.

PINTO-COELHO, R. M., HAVENS, K. **Crise nas Águas**. Belo Horizonte, Recóleo: 2015. 162p.

PIVETTA, K. F. L.; LUZ, P. B. da. Efeito da temperatura e escarificação na germinação de Sementes de *Euterpe oleracea* (mart.) (Arecaceae). **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v.13, p.83-88, 2013.

PINHO, S. M.; DE MELLO, G. L.; FITZSIMMONS, K. M.; EMERENCIANO, M. G. C. (2017) Integrated production of fish (pacu *Piaractus mesopotamicus* and red tilapia *Oreochromis* sp.) with two varieties of garnish (scallion and parsley) in aquaponics system. **Aquac Int** 26:99–112. <https://doi.org/10.1007/s10499-017-0198-y>.

PINHO, S. M.; DAVID, L. H.; GARCIA, F. et al. South American fish species suitable for aquaponics: a review. **Aquacult Int**, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10499-021-00674-w>.

PINEDA-PINEDA, J.; MIRANDA-VELÁZQUEZ, I.; ARIAS, A.; VARGAS-HERÁNDEZ, M.; MONTALVO-HERNÁNDEZ, D.; GARCIA, S.; GARCÍA-RAMÍREZ, N. **Response of tilapia and tomato to the complementation of nutrients in an aquaponic system**. 10.13140/RG.2.2.30977.20323. 2020.

POPULATION DIVISION, Department of Economic and Social Affairs, United Nations. **World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352)**; United Nations: New York, NY, USA, 2014.

PNUELI, L.; CARMEL-GOREN, L.; GUTFINGER, T.; ALVAREZ, J.; GANAL, M.; ZAMIR, D.; LIFSCHITZ, E. The SELF-PRUNING gene of tomato regulates vegetative to reproductive switching of sympodial meristems and is the ortholog of CEN and TFL1. **Development**, v.125, n.7, p.1253-60, 1998.

QUEIROZ, J. A. L. de. **Fitossociologia e distribuição diamétrica em floresta de várzea do estuário do rio Amazonas no Estado do Amapá**. 2004. 113f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Amapá.

RANA, S. K.; GOLDBERGER, D.; MUKHEERJEE, S.; PRADHAN, C.; JANA, B. B. Reclamation of municipal domestic wastewater by aquaponics of tomato plants. **Ecological Engineering**, Netherlands, v. 37, n. 6, p.981-988, 2011.

RAKOCY, J.E.; HARGRAVES, J.A., Integration of vegetable hydroponics with fish culture: a review. In: WANG, J.K. (Ed.), **Techniques for Modern Aquaculture**. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan, USA, p. 112–136, 1993.

RAKOCY, J. E. Aquaponics – Integrating Fish and Plant Culture. In: TIDWELL, J. H. (ed.). **Aquaculture Production Systems**. 1. ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2012. p. 343-386.

RAKOCY, J.E.; MCGINTY, A.S. Pond culture of tilapia. **Southern Regional Aquaculture Center**, n. 280, 1989.

RAVIV, M.; WALLACH, R.; SILBER, A.; BAR-TAL, A. Substrates and their analysis. In **Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals**; SAVVAS, D.; PASSAM, H., Eds.; Embrio publications: Athens, Greece, pp. 25-102. 2002.

RAKOCY, J.E. et al. Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. **Acta Horticulturae**, v. 648, p. 63–69, 2004.

RAKOCY, J. E.; LOSORDO, T. M.; MASSER, M. P. Recirculating aquaculture tank production systems: aquaponics: integrating fish and plant culture. **Southern Regional Aquaculture Center Publications**, Mississipe, n. 454, 2006. 16 p.

REIS NETO, R.V. **Avaliações morfológicas de juvenis de pacu (*Piaractus mesopotamicus*), tambaqui (*Colossoma macropomum*) e seus híbridos**. 2007. 63f. Mestrado - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2007.

REIS, Y. S.; LEITE, J. L. R.; DE ALMEIDA, C. A. L. et al (2019) New insights into tambaqui (*Colossoma macropomum*) feeding behavior and digestive physiology by the self-feeding approach: effects on growth, dial patterns of food digestibility, amylase activity and gastrointestinal transit time. **Aquaculture** 498:116–122. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.054>.

RECH, A. L. **Biossorção de íons metálicos utilizando caroço de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) como adsorvente alternativo**. 2014. 129f. Tese (Doutorado) Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

RIGOTTO, R. M.; VASCONCELOS, D. P.; ROCHA, M. M. Uso de agrotóxicos no Brasil e problemas para a saúde pública. **Cad. Saúde Pública**, v.30, n. 7, p. 1-3, 2014.

RODRÍGUEZ-ZÚÑIGA, U.F; FARINAS, C.S.; BERTUCCI NETO, V.; LEMO, V. Produção de Complexos Lignocelulíticos em Substratos Derivados de Resíduos Agroindustriais por Fermentação Semi-sólida. In: Workshop de Biotransformação e Biotransformação, 4., 2008, São Carlos. Livro de resumos... São Carlos, SP: Instituto de Química de São Carlos, 2008. p. 107. resumo expandido.

ROCHA, L. M. O. **Eficiência do carvão ativado do caroço do açaí (*Euterpe oleracea*) como mídia filtrante em sistema de recirculação para aquicultura (SRA)**. p. 77. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais (PPGARAT), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.

RUXTON, G.D.; SPEED, M.P.; KELLY, D.J. What, if anything, is the adaptive function of countershading? **Animal Behaviour**. v. 68, n. 3, p. 445-451, 2004.

SANTANA, A.C.; COSTA, F.A. Mudanças recentes na oferta e demanda do açaí no estado do Pará. In: SANTANA, A.C.; CARVALHO, D.F.; MENDES, F.A.T. (org.). Análise sistêmica da fruticultura paraense: organização, mercado, e competitividade empresarial. Belém: Banco da Amazônia, p. 207-225, 2008.

SAMUELSON, M.E.; ELIASON, L. & LARSON, C.M. Nitrate - regulated growth and cytokinin responses in seminal roots of barley. **Plant Physiology**, 98: p.309-315. 1992.

SANTOS, G.M., FERREIRA, E.J.G.; ZUANON, J.A.S. 2006. Peixes Comerciais de Manaus. Manaus: Ibama/AM, ProVárzea, 144pp.

SANTOS, G. M.; MAIA, G. A.; SOUZA, P. H. M.; COSTA, J. M. C.; FIGUEIREDO, R. W.; PRADO, G. M. Correlação entre atividade antioxidante e compostos bioativos de polpas comerciais de açaí (*Euterpe oleracea* Mart). **Archivos latinoamericanos de nutrición**, v. 58, n. 2, p. 187-192, 2008.

SANTOS, M. R.; SEDIYAMA, M. A. N.; SALGADO, L. T.; VIDIGAL, S. M & REIGADO, F. R. Produção de mudas de pimentão em substratos à base de vermicomposto. **Bioscience Journal**, 26:572-578, 2010.

SANTOS, O. S.; MENEGAES, J. F.; FILIPETTO, J. E.; LUZ, R. C. Produção de tomates em hidroponia com diferentes espaçamentos. **PUBVET**, Londrina, V. 7, N. 6, Ed. 229, Art. 1519, 2013.

SALAM, M. A.; JAHAN, N.; HASHEM, S.; RANA, K. M. S. Feasibility of tomato production in aquaponic system using different substrates. **Progressive Agriculture**, 25:54-62, ISSN: 1017-8139, 2014.

SAVVAS, D.; GRUDA, N. Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry – A review. **Eur. J. Hortic. Sci.** 83 (5), p. 280-293, ISSN 1611-4426 print, 1611-4434 online. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.5.2>, 2018.

SANTOS, F. A. C. et al. Growth performance and physiological parameters of *Colossoma macropomum* in a recirculating aquaculture system (RAS): Importance of stocking density and classification. **Aquaculture**, Volume 534, ISSN 0044-8486, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848620339806>. Acesso em: 03 de abr. de 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736274>.

SILVA, J.A.M.D.; PEREIRA-FILHO, M.; OLIVEIRIA-PEREIRA, M.I.D. Valor nutricional e energético de espécies vegetais importantes na alimentação do tambaqui. **Acta Amazonica**. v. 33, n. 4, p. 687-700, 2003.

SILVA, O. S.; SOUZA, R. B.; TAKAMORI, L. M.; SOUZA, W. S.; SILVA, G. P. P. & SOUSA, J. M. M. (2010) Produção de mudas de pimentão em substratos de coco verde fertirrigadas com biofertilizante em sistema orgânico. **Horticultura Brasileira**, 28:S2714-S2720.

SILVEIRA, E. **Plástico de açaí**, Pesquisa FAPESP, São Paulo, n. 196, p. 56-57, 2012.

SILVA, A.D.R.; SANTOS, R.B.; SOARES, E.C. Cultivo de tambaqui em canais de abastecimento sob diferentes densidades. **Acta Amazonica**. v. 43, n. 4, p. 517-524, 2013.

SILVA, T. B. F.; SILVA, R. R. S.; PINTO, F. E. N.; MATOS, R. R. S. S.; CORDEIRO, K. V.; PEREIRA, A. M.; FREITAS, J. R. B.; LOPES, J. M.; Criação de tambaqui associado à

hidroponia em sistema de recirculação de água. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e543997543, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i9.7543>.

SIQUEIRA, R. R.; FISCH, S. T. V. Adequação do currículo escolar à peculiaridade da população ribeirinha: influência da colheita do açaí na ilha do Combu, Belém, PA. **Revista Ambiente & Água**, v.8, p.8-23, 2013.

SILVA, D. W.; CLAUDINO, L. S.; OLIVEIRA, C. D.; MATEI, A. P.; KUBO, R. R. Extrativismo e desenvolvimento no contexto da Amazônia brasileira. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 38, p. 557-577, 2016. DOI: 10.5380/dma.v38i0.44455.

STICKNEY, Robert R. Getting started. In: STICKNEY, Robert R. (Ed.). **Aquaculture: an introductory text**. Wallingford: Cabi Publishing, 2005. p. 40-94.

SOARES, W. L., and M. F. PORTO. 2007. Agricultural activity and environmental externality: an analysis of the use of pesticides in the Brazilian savannah. **Ciência & Saúde Coletiva**, 12. 1: 131-143.

SOMERVILLE, C.; COHEN, M.; PANTANELLA, E.; STANKUS, A.; LOVATELLI A. **Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming**. Rome, 2014. 252 p. (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589).

SOUTHERN, A., KING, W. **The aquaponic farmer: a complete guide to building and operating a commercial aquaponic system**. New Society Publishers. Canada, 1982. 281p.

SUHL, J.; DANNEHL, D.; KLOAS, W.; BAGANZ, D.; JOBS, S.; SCHEIBE, G.; SCHMIDT, U. Advanced aquaponics: Evaluation of intensive tomato production in aquaponics vs. conventional hydroponics. **Agricultural Water Management**. (2016). 178. 335-344. 10.1016/j.agwat.2016.10.013.

SCHAUSS, A. G., X. WU, R. L. PRIOR, B. Ou, D. PATEL, D. N. HUANG, J. P. KABABICK. 2006. Phytochemical and Nutrient Composition of the Freeze-Dried Amazonian Palm Berry, *Euterpe oleracea* Mart. (Açaí). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 22. 54: 8598-8603.

SCHNEIDER, O. et al. Analysis of nutrient flows in integrated intensive aquaculture systems. **Aquacultural Engineering**, p. 379-401, 2005. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: 25 de agosto de 2020.

TIDWELL, J. H. Characterization and Categories of Aquaculture Production Systems. In: TIDWELL, J. H. (ed.). **Aquaculture Production Systems**. 1 ed. Oxford: Wiley-Blackwell, 2012. p. 64-78.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B.L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA** 2011, 108, 20260–20264.

TIMMONS, Michael B.; EBELING, James M. **Introduction to recirculating aquaculture technology**. In: TIMMONS, Michael B.; EBELING, James M. (Ed.). **Recirculating Aquaculture**. 3. ed. Ithaca: Cayuga Aqua Ventures, 2013a. p. 1-26.

TIMMONS, Michael B.; EBELING, James M. Gas transfer. In: TIMMONS, Michael B.; EBELING, James M. (Ed.). *Recirculating Aquaculture*. 3. ed. Ithaca: Cayuga Aqua Ventures, 2013b. p. 349-386.

TEIXEIRA, L.B., OLIVEIRA, R.F. DE, FURLAN JR., J., CRUZ, E.S., & GERMANO, V.L.C. (2004). Processo de compostagem a partir de lixo orgânico urbano e caroço de açaí (Circular Técnica, N. 105, 4p) Belém: Embrapa Amazônia Oriental.

TOKUYAMA, T. et al. Nitrosomonas communis strain YNSRA, na ammonia-oxidizing bacterium, isolated from the reed rhizoplane in an aquaponics plant. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, Osaka, v. 98, n. 4, p. 309-312, 2004.

TYSON, R. V.; TREADWELL, D. D.; SIMONNE, E. H. Opportunities and challenges to sustainability in aquaponic systems. **Hort. Technology**, v. 21, n. 1, p. 6-13, 2011.

VINATEA, L. A. Fundamentos de aquicultura. Florianópolis: ed. da UFSC, 2004. p. 35-51, p. 349.

WALLER, P. L.; WILSON, F. N. Evaluation of growing media for consumer use. **Acta horticulturae**, The Hague, n. 150, p. 51-58, 1984.

WAMBACH, X. F. Manejo prático aplicado a piscicultura de água doce. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Zootecnia, Programa de Educação Tutorial (PET/MÊS/SESu), Recife-PE, p.28, 2012.

WONGKIEW, S.; HU, Z.; CHANDRAN, K.; LEE, J. W.; KHANAL, S. K. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. **Aquacultural Engineering**. v.76, p.9-19, jan. 2017. DOI:10.1016/j.aquaeng.2017.01.004.

YAMAGUCHI, K.K. DE L.; PEREIRA, L. F. R.; LAMARÃO, C. V.; LIMA, E. S.; DA VEIGA-JUNIOR, V.F. Amazon açaí: Chemistry and biological activities: A review. **Food chemistry**, v. 179, p. 137-151, 2015. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2015.01.055>

ZOU, Y.; HU, Z.; ZHANG, J.; XIE, H.; LIANG, S.; WANG, J.; YAN, R. Attempts to improve nitrogen utilization efficiency of aquaponics through nitrifies addition and filler gradation. **Environmental Science and Pollution Research**. v.23, n.7, p.6671- 6679, abr. 2016. DOI: 10.1007/s11356-015-5898-0.

CAPÍTULO II

ARTIGO CIENTÍFICO

Padronizado de acordo com as normas da Aquacultural Engineering: ISSN: 0144-8609

8 CAPÍTULO 2: Resíduo de açaí *Euterpe oleracea*, para a produção de mudas em meio aquapônico

Segundo as normas da revista para a submissão: Aquacultural Engineering

RESUMO

A superexploração de recursos limitados aliada ao excesso de resíduos produzidos pela agroindústria são uma preocupação mundial, que leva para a prática de atividades humanas em direção a uma produção mais limpa e eficiente. Portanto, este é o primeiro estudo que verificou a possibilidade de utilizar resíduo de açaí como meio de crescimento para biofiltração e produção de mudas em sistema de aquaponia com tambaqui, *Colossoma macropomum*. Para a avaliação, foram empregados três níveis de alagamento (5, 10 e 15 cm) e um controle (sem adição de resíduo de açaí), com fluxo constante através do leito de resíduo de açaí, durante 30 dias, sendo analisado os efeitos na qualidade de água e no desempenho de crescimento de vegetais e dos peixes. Após 28 dias, a amônia média total foi inferior a 1 mg L^{-1} nos tratamentos com resíduo de açaí e superior a 5 mg L^{-1} no controle durante todo o experimento. Enquanto o fosfato e o nitrito não foram afetados significativamente entre os grupos, o nitrito foi menor no tratamento de 15 cm de fluxo de água. O resíduo do açaí diminuiu o oxigênio dissolvido, o total de sólidos dissolvidos e a condutividade, e aumentou o pH e a alcalinidade. Após 22 dias, a germinação superficial do açaí foi 2,63 e 3,07 vezes maior no nível de inundação de 10 cm do que em 5 e 15 cm, respectivamente, embora o maior crescimento das mudas tenha sido observado no de 5 cm. Após 30 dias, não foram observadas diferenças significativas no desempenho do tambaqui, alcançando mais de 1 kg e ganho de peso de quase 10 g por dia. Nesse contexto, o resíduo do açaí é capaz de remover compostos nitrogenados, produzindo grande quantidade de mudas precoces e não afetando negativamente o crescimento do tambaqui.

Palavras-chaves: Economia circular; Cultura integrada; Cultura sem solo; Meios de crescimento; Sementes de açaí; Tambaqui.

ABSTRACT

The overexploitation of limited resources combined to the excess of residue produced by agroindustry are a worldwide concern, which conducts human activities towards a cleaner and more efficient production. Therefore, this is the first study that verified the possibility of using açai residue as growth media for biofiltration and seedling production in aquaponic system with tambaqui, *Colossoma macropomum*. To evaluate, three flooding levels (5,10 and 15 cm) and a control (without açai residue) with constant flux through açai residue bed were performed for 30 days and the effects on water quality, vegetable and fish growth performance were analyzed. After 28 days, mean total ammonia was lower than 1 mg L⁻¹ in treatments with açai residue, and was higher than 5 mg L⁻¹ at control during all experiment. While phosphate and nitrite were not affected significantly among groups, nitrate was lower at 15 cm of water flux. The açai residue decreased dissolved oxygen, total dissolved solids and conductivity, and increased pH and alkalinity. After 22 days, superficial açai germination was 2.63 and 3.07 times higher at 10 cm flood level than at 5 and 15 cm, respectively, though higher seedling growth was observed at 5 cm. After 30 days, no significant differences were observed on tambaqui performance, reaching more than 1 kg and weight gain of almost 10 g per day. In this context, açai residue is capable of removing nitrogen compounds, producing great quantity of early seedlings and not affecting negatively tambaqui growth.

Key-words: Circular economy, Integrated culture; Soilless culture; Growth media; Açai seed; Tambaqui

1 Introdução

Os sistemas de aquaponia são uma forma de produção integrada de alimentos que combina a aquicultura de recirculação e a produção hidropônica. É considerado um modelo de economia circular que utiliza águas residuais de peixes para nutrir as plantas, o que descarta menos poluição no meio ambiente e usa menos área e água do que a agricultura convencional (Goddek et al., 2019). Entre as técnicas aquapônicas mais comuns estabelecidas estão a Nutrient Film Technique (NFT), Deep Water Technique (DWT) e o leito de mídia. Enquanto no NFT, um baixo fluxo de água é usado para apoiar a cultura, no DWT, as plantas flutuam em uma coluna de água de 20 a 30 cm, no leito com mídia, um substrato é utilizado para fixar a planta (Lennard e Goddek, 2019). Além disso, o meio de crescimento é repleto de microrganismos que contribuem para o processo de nitrificação e, portanto, um compartimento de biofiltro adicional, não sendo necessário no sistema de recirculação (Wongkiew et al., 2017).

O substrato ou mídia utilizado nas culturas sem solo podem ser orgânicos (turfa, fibra de coco, cascas de frutas), ou inorgânicos (perlita, areia, cascalho). A escolha deve considerar suas propriedades físicas, químicas e biológicas, que podem impactar a qualidade da água, o crescimento dos peixes e o desenvolvimento das plantas (Raviv et al., 2019). Não menos relevante, o preço e a disponibilidade dos substratos devem ser considerados (Pascual et al., 2018), uma vez que não há espaço para gastos excessivos na produção aquapônica (Rakocy et al., 2018). Algumas mídias usadas na recirculação na aquicultura podem custar de USD \$ 680.00 m⁻³ a mais de USD \$ 1000.00 m⁻³ (Alam et al., 2020; Saliling et al., 2007).

No ambiente amazônico, uma grande diversidade de recursos está disponível para uso no sistema aquapônico. O resíduo do açaí, por exemplo, pode contribuir para essa produção sustentável. O açaí (*Euterpe oleracea*, Mart, 1824) é uma fruta tropical parecida com a uva, na qual 90% da cadeia de abastecimento provém da extração de palmeiras nativas em áreas alagadas distribuídas por toda a floresta amazônica e, mais recentemente, expandido para terras altas (Bichara e Rogez, 2011; Ribeiro et al., 2020). Internacionalmente, a polpa de açaí é apreciada por seus produtos processados com alta demanda (Barbosa et al., 2016; Freitas et al., 2021). Em 2020, foram produzidas 1,4 milhões de toneladas no Brasil, um orçamento de USD\$ 821.428,00, estabelecendo-se como a principal fonte de

receita de muitos povos tradicionais (IBGE, 2021). No entanto, a extração da polpa rende apenas até 20% do peso do fruto e toneladas de resíduos compostos por sementes e fibras que são descartadas de forma inadequada em rios e florestas amazônicas (Melo et al., 2021; Sato et al., 2019). Recentemente, muitos estudos experimentaram esses subprodutos na construção civil (Barbosa et al., 2019; dos Santos Silva et al., 2017), agricultura (Erlacher et al., 2017) e agropecuária (Arruda et al., 2018). Também foi utilizado com sucesso para filtrar água (de Sousa Ribeiro et al., 2018; Martins et al., 2021; Queiroz et al., 2020), porém, até o momento nenhum estudo foi direcionado para uso em sistema aquapônico.

Nesse contexto, a semente de açaí descartada poderia ser utilizada como substrato no sistema aquapônico, como meio de crescimento de plantas e bactérias nitrificantes. Além disso, a semente conserva o potencial germinativo, ou seja, é um biofiltro vivo que poderia ser utilizado para a produção de mudas de açaí, uma renda adicional para os agricultores familiares. A produção de mudas de açaí normalmente é feita sexualmente, sendo a propagação da semente o método mais simples e barato. Tradicionalmente, em larga escala, as sementes são dispostas em canteiro com composto orgânico por mais ou menos 22 dias, quando as primeiras mudas chegam a 3 cm e devem ser transplantadas para sacos de 2L (Carvalho e Nascimento, 2018; de Oliveira et al., 2007). Nesta fase, a água disponível e o oxigênio são fatores importantes para o desenvolvimento inicial da planta (Pascual et al., 2018), bem como para a nitrificação de bactérias na aquicultura de recirculação, mas não foi testado no sistema aquapônico (Rakocy, 2018).

Portanto, este estudo verificou pela primeira vez o uso de sementes descartadas de açaí como meio de crescimento e ao mesmo tempo para a produção de mudas em sistema aquapônico com o tambaqui, *Colossoma macropomum*, um peixe amazônico com potencial para aquicultura recirculante (Pinho et al., 2021). Os efeitos do nível de água (5, 10 e 15 cm) que passou no canteiro de açaí, foram analisados na qualidade da água, produção de mudas e desenvolvimento do tambaqui durante 30 dias. Um grupo controle, sem semente de açaí, também foi liquidado em triplicata.

2 Material e métodos

O experimento foi conduzido na Universidade Federal Rural da Amazônia, Pará, Brasil. (UFRA), em sistema aquapônico em casa de vegetação, durante 30 dias. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no uso de Animais da Universidade Federal Rural da Amazônia com o número de protocolo n° 1457260820.

2.1 Desenho experimental

Para o estudo foram empregados 4 tratamentos, com níveis de coluna de água correspondentes a 15, 10 e 5 cm e um tratamento controle com 10 cm de coluna de água, mas que não continha as sementes de açaí, com 3 repetições cada, totalizando 12 unidades aquapônicas.

A estrutura experimental foi composta por 12 unidades de sistemas aquapônicos independentes. Sendo empregados Cada unidade era composta por um aquário de 1000 L, um tanque de decantação de 70 L, um reservatório de 100 L, com 30 L de tampa de garrafa pet como biofiltro e bomba de 3000 L h⁻¹, e um leito hidropônico de 150 L. As sementes de açaí foram coletadas após a extração da polpa, lavadas e dispostas em leito hidropônico, que depois de adicionadas ficaram com 13 cm de altura, exceto nas unidades de controle que permaneceram vazias.

Um mês antes, para amadurecer o biofiltro de tampas de garrafas, promovendo a colonização de bactérias nitrificantes, foi adicionado água e peixes experimentais criados do mesmo estoque em laboratório, sendo alocados em aquários, três por unidade aquapônica, quando atingidos o peso de (média ± DP) de 585.6 ± 16.6 g e comprimento de 33.3 ± 0.35 cm. Após esse período de aclimação, a água foi também deixada para recircular em leito hidropônico, a 5 cm, 10 cm e 15 cm de nível nas sementes de açaí, e de 10 cm no leito hidropônico controle (vazio), em triplicata.

Figura 1- Sistema aquapônico experimental utilizado neste estudo composto por 12 recirculação de água independentes. Em cada unidade, a água de 1) tanque de peixes (1000L) flui por gravidade para 2) tanque de decantação (60L) e 3) reservatório (100L), preenchido com 30 L de filtro biológico de tampa de plástico, onde uma bomba submersa de 3000 L h⁻¹ leva a água em 4) leito hidropônico (150 L) a 5 cm, 10 cm e 15 cm de níveis através da semente de açaí (13 cm de altura) e 10 cm no tratamento controle (leito hidropônico vazio).



2.2 Análise da água

Água desclorada, foi utilizada para encher os tanques e repor a evaporada. A qualidade da água foi verificada utilizando a metodologia proposta por Sterzelecki et al. (2021). Análises diárias nos tanques dos peixes foram realizadas para monitorar sólidos totais dissolvidos (Multiparameter Probe SQUAREAD AP-800), condutividade, oxigênio dissolvido (YSI ProODO, OH, USA, $\pm 0.01 \text{ mg L}^{-1}$), temperatura e pH (BL-1072 – pHmetro Portátil digital). O oxigênio dissolvido e o pH também foram monitorados na água afluyente e efluente do leito hidropônico. Semanalmente, foram coletadas amostras para verificar alcalinidade, dureza, compostos nitrogenados e níveis de fosfato (APHA, 1995). A água doce foi filtrada usando membrana F/GF $0.7 \mu\text{m}$ e analisada de acordo com os métodos padrão APHA (2005). O nível de fosfato foi medido aplicando o teste de fósforo total (ácido ascórbico (APHA, 1995)), amônia total (Bolleter et al., 1961), nitrito (reação de Griess, usando a metodologia APHA (1995)) e nitrato (APHA, 1995), lido em espectrofotometria lido em $220 \text{ nm}/270 \text{ nm}$ em espectrofotometria lonlab, PR, Brasil. A remoção total de amônia foi calculada como: $\text{TAN removido (\%)} = (\text{TAT} - \text{TAC}/\text{TAC}) * 100$, onde TAN é a amônia total removida, TAT é a amônia total no tanque de tratamento e TAC é a amônia total no tanque de controle.

2.3 Desempenho de crescimento dos peixes

Os peixes (n=3 por tanque, 9 por tratamento) foram medidos e pesados mensalmente para verificar o desempenho de crescimento. Os animais foram alimentados com (NUTRIPISCIS STARTER®; 45% de proteína e 9% de proteína; 0,8 mm) diariamente a 3% da taxa de alimentação, três vezes ao dia. Antes da coleta, os indivíduos foram mantidos em jejum por 24h e anestesiados (Eugenol, 50 ppm) para evitar estresse. O ganho de peso foi obtido subtraindo o peso final do peso inicial. A taxa de conversão alimentar foi calculada por $(FCR) = \text{consumo de ração (g)}/\text{ganho de peso (g)}$.

2.4 Desempenho do vegetal

As sementes de açaí foram coletadas logo após a extração da polpa, lavadas com água desclorada e colocadas em leito hidropônico, com aproximadamente 60.000 sementes, exceto o tratamento controle que permaneceu vazio. Após o período de aclimação, a água do tanque onde estava a bomba submersa, fluiu para o leito hidropônico. O desempenho das sementes de açaí foi verificado pela contagem da germinação superficial das sementes durante 14 dias após a primeira ocorrência. Foram consideradas germinadas as sementes que apresentavam protusão do eixo hipocótilo-radícula e os resultados foram utilizados na porcentagem de germinação de açaí (%) e índice de velocidade de germinação (Maguire, 1962). Após 30 dias, foram amostrados peso fresco, eófilo, comprimento da radícula e diâmetro do caule da muda (n=30 por tratamento).

2.5 Análises estatísticas

A homocedasticidade e normalidade dos dados foram verificados. A porcentagem de sobrevivência e germinação foi primeiro transformada em raiz quadrada da arcsina. Enquanto para variáveis paramétricas, ANOVA unilateral e testes post hoc de tukey, foram usados para verificar diferenças significativas ($p < 0,05$), e para resultados não paramétricos, teste post hoc de Kruskal-Wallis e Dunn foram usados para explorar diferenças significativas ($p < 0,05$). A ANOVA de duas vias foi usada para compostos nitrogenados e fosfato para comparar os diferentes tempos de amostragem ($p < 0,05$). GraphPad prism 6, foi usado para a análise estatística.

3 Resultados

3.1 Análise da qualidade de água

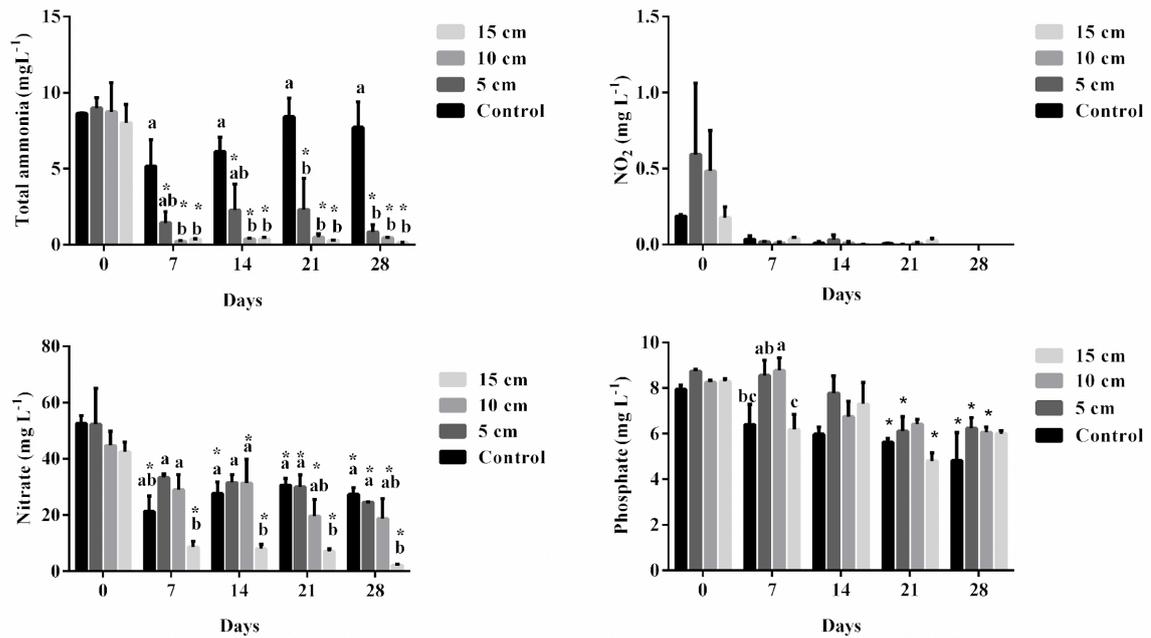
O nível de água que passou pelo açai afetou significativamente a qualidade da água (Tabela 1). Enquanto o pH, a alcalinidade e a remoção de amônia foram afetadas positivamente pelo nível de água, a condutividade e o total de sólidos dissolvidos foram impactados negativamente ($p < 0,05$). Quanto à remoção do TAN percebe-se que foi 20% maior em 10 cm e 15 cm do que em 5 cm ($p < 0,05$).

Tabela 1- Efeitos do resíduo de açai sobre os parâmetros de qualidade da água observados após 28 dias em sistema aquapônico. Os dados são apresentados como média \pm SEM. Letras diferentes são estatisticamente diferentes ($p < 0,05$).

Parâmetros	Controle	5 cm	10 cm	15 cm
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	27.52 \pm 0.06	27.78 \pm 0.04	27.58 \pm 0.05	27.47 \pm 0.05
pH	5.9 \pm 0.04 ^c	6.0 \pm 0.05 ^c	6.3 \pm 0.04 ^b	6.7 \pm 0.04 ^a
OD afluente (mg L^{-1})	5.58 \pm 0.06	5.66 \pm 0.05	5.57 \pm 0.07	5.73 \pm 0.07
OD efluente (mg L^{-1})	5.12 \pm 0.09 ^a	3.94 \pm 0.10 ^c	3.26 \pm 0.09 ^d	4.43 \pm 0.11 ^b
Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	209.5 \pm 10.6 ^b	249 \pm 9.3 ^a	228.4 \pm 8.1 ^b	182.1 \pm 5.5 ^b
Sólidos Totais				
Dissolvidos	136.8 \pm 6.7 ^b	162.7 \pm 6.4 ^a	148 \pm 5.3 ^b	117.7 \pm 3.6 ^b
Dureza (mg L^{-1})	107.3 \pm 12.5	98.67 \pm 7.4	110.3 \pm 10.6	82.33 \pm 6.5
Alcalinidade (mg L^{-1})	10.98 \pm 1.50 ^b	22.2 \pm 6.98 ^b	28.42 \pm 5.47 ^b	71.18 \pm 9.51 ^a
Tan removido (%)		74.12 \pm 5.4 ^b	94.37 \pm 0.37 ^a	95.37 \pm 1.20 ^a

Exceto pelo nitrito, os compostos de nitrogênio e fosfato também foram significativamente afetados pelo açai (Figura 2). A amônia total diminuiu significativamente após fluir através da semente de açai, embora não tenha sido observada diferença significativa no grupo controle. Depois que a água começou a fluir no leito hidropônico, o nitrato diminuiu significativamente no tratamento de 15 cm e manteve-se nos níveis baixos durante 28 dias. O fosfato de água diminuiu significativamente após 21 e 28 dias em todos os grupos.

Figura 2- Efeitos do açai sobre compostos de nitrogênio e fosfato durante 28 dias experimentais, considerados para as análises de água. Os dados são apresentados como média \pm SEM. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas entre os grupos, e (*) diferenças entre antes (dia 0) e depois da introdução do açai ($p < 0,05$).



3.2 Desempenho vegetal

O nível da água também afetou significativamente a germinação do açaí e o desenvolvimento inicial da planta. Após 9 dias experimentais, o primeiro eixo hipocótilo-radícula emergiu e era aparente, sendo significativamente maior ao nível de 10 cm após 11 dias. A porcentagem média de germinação e o índice de velocidade também foram maiores no nível de 10 cm, no entanto, o crescimento das mudas de açaí diminuiu com o aumento do nível da água (Tabela 2).

Figura 3- Germinação superficial absoluta da semente de açaí nos tratamentos de 5, 10 e 15 cm contados diariamente durante duas semanas após a primeira emergência das plântulas. Os dados são apresentados como média \pm SEM, n = 3. Letras diferentes são estatisticamente diferentes (p < 0,05).

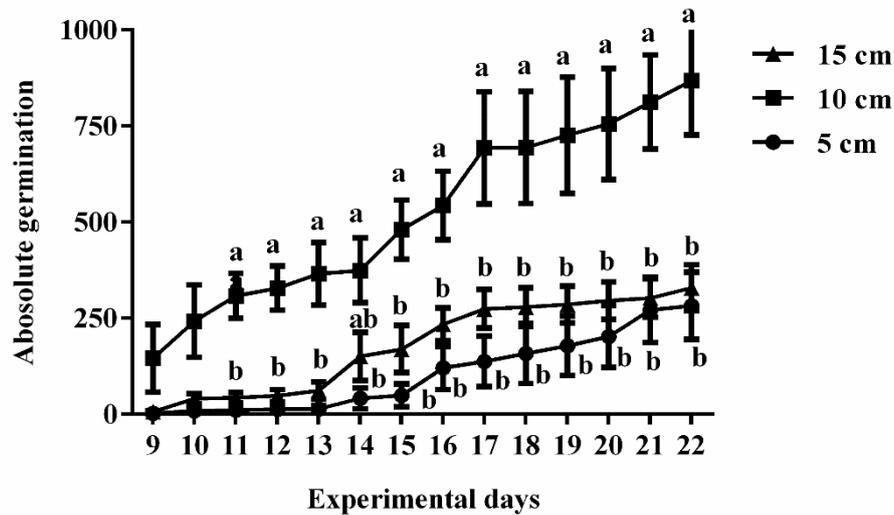


Tabela 2- Parâmetros de germinação e crescimento do açaí após 30 dias em sistema aquapônico. Os dados são apresentados como média \pm SEM. Letras diferentes são estatisticamente diferentes ($p < 0,05$).

Parâmetros	5 cm	10 cm	15 cm
Altura Açaí (cm)	12.3 \pm 1.9 ^a	7.92 \pm 1.8 ^b	4.01 \pm 1.7 ^c
Altura Eófilo (cm)	4.16 \pm 0.9 ^a	2.21 \pm 0.7 ^b	0.6698 \pm 1.0 ^c
Eixo Hipocótilo-radícula (cm)	8.13 \pm 1.4 ^a	5.71 \pm 1.4 ^b	3.34 \pm 1.2 ^c
Diâmetro Eófilo (cm)	3.03 \pm 0.5 ^a	2.46 \pm 0.5 ^b	0.61 \pm 0.8 ^c
Peso fresco Açaí (g)	1.32 \pm 0.03 ^a	1.31 \pm 0.04 ^a	1.19 \pm 0.03 ^b
Taxa de germinação (%)	0.35 \pm 0.15 ^b	2.63 \pm 0.64 ^a	0.70 \pm 0.16 ^b
Índice de velocidade de germinação	0.66 \pm 0.21 ^b	2.03 \pm 0.33 ^a	0.77 \pm 0.14 ^b

3.3 Desempenho de crescimento dos peixes

Nenhuma mortalidade foi observada durante o experimento. A semente de açaí e seus respectivos níveis de inundação (5, 10 e 15 cm), não afetaram significativamente o crescimento dos peixes. Os peixes cresceram mais de 200 g em 30 dias, quase 10 g por dia (Tabela 3). A taxa de conversão alimentar não foi afetada significativamente.

Tabela 3 – Efeito do açaí no desempenho de crescimento do tambaqui após 30 dias. Os dados são apresentados como média \pm SEM. Letras diferentes são estatisticamente diferentes ($p < 0,05$).

Parâmetros	Tratamentos			
	Controle	5 cm	10 cm	15 cm
Peso inicial (g)	827.8 \pm 41.5	849.0 \pm 52.1	819.4 \pm 42.6	795.6 \pm 47.7
Peso final (g)	1097.0 \pm 50.0	1103 \pm 57.6	1080.0 \pm 56.3	1067.0 \pm 54.8
Ganho de peso (g)	269.3 \pm 29.8	254.1 \pm 13.06	260.9 \pm 18.84	271.2 \pm 15.8
Comprimento inicial (cm)	35.99 \pm 0.53	36.39 \pm 0.73	36.21 \pm 0.58	35.66 \pm 0.71
Comprimento final (cm)	39.12 \pm 0.60	38.33 \pm 0.65	39.26 \pm 0.52	37.28 \pm 0.61
Taxa de conversão alimentar	2.036 \pm 0.25	2.11 \pm 0.11	2.067 \pm 0.16	1.980 \pm 0.12

4 Discussão

O uso do resíduo do açaí no Sistema aquapônico melhorou a qualidade da água, promoveu a germinação das sementes e a produção de mudas, e a intensidade de resposta foi vinculada ao nível de água que fluía pelo canteiro. Além disso, o crescimento do tambaqui não foi afetado significativamente, o que indica uma resiliência e potencial para a aquicultura de recirculação.

4.1 Qualidade da água

No sistema aquapônico, a qualidade da água pode ser afetada por peixes, vegetais e atividade microbológica (Goddek et al., 2019). Os meios de crescimento também podem influenciar na água circundante (Raviv et al., 2019). Neste estudo, o aumento do pH e alcalinidade e a diminuição da condutividade, sólidos totais dissolvidos e oxigênio dissolvido, de acordo com o aumento do nível de água que passou pelo resíduo de açaí, apontam a presença de diferentes microrganismos. A nitrificação é um processo de liberação de ácido realizado por bactérias autotróficas. Sua atividade diminui o pH e a alcalinidade, além de consumir oxigênio no sistema aquapônico em recirculação. Por outro lado, a desnitrificação pode ocorrer em zonas anóxicas e recuperar a alcalinidade pela atividade de bactérias anaeróbicas (Timmons et al., 2018), o que poderia explicar a elevação do pH. Além disso, estudo anterior mostrou um grupo de bactérias aeróbicas que estavam intimamente ligadas ao aumento do pH em meio orgânico (Peterson e Jensén, 1989). O consumo de oxigênio é um sinal de atividade aeróbica do organismo, e o ligeiro aumento da concentração de oxigênio no tratamento de 15 cm pode ser atribuído ao desenvolvimento de microrganismos fototróficos, visualmente presentes desde o início do

período experimental. Nesse nível, a água corria sobre o caroço de açaí (2 cm) e ficava exposta ao sol, o que criava um ambiente perfeito para os organismos fotossintéticos, embora o experimento fosse realizado sob um pano de 50% de sombra, para evitá-los.

O tipo de meio de crescimento afetou a fixação de bactérias (Tyson et al., 2004; Zhang et al., 2020) e também foi rapidamente observado neste estudo, após apenas 7 dias experimentais. Apesar de todos os sistemas aquapônicos serem compostos por um meio plástico, aqueles que continham sementes de açaí resultaram em níveis mais baixos de amônia, e foram proporcionais ao nível da água. Provavelmente, quanto maior a imersão da semente de açaí em água, maior a área de superfície do substrato disponível para o crescimento de bactérias nitrificantes ou heterotróficas (Zhang et al., 2020). Outra possibilidade pode ser por meio da adsorção direta no substrato, pois os meios orgânicos têm maior capacidade de troca catiônica e aniônica do que os inorgânicos (Pascual et al., 2018; Silber, 2019). Estudo anterior mostrou essa característica do resíduo do açaí, quando removidos os cátions da água (Gonçalves Junior et al., 2016). Por fim, após a germinação, as primeiras mudas de açaí podem ter contribuído para a retirada de alguma quantidade de água.

Enquanto o nitrito não significativamente diferente, o nitrato foi menor no tratamento de 15 cm desde os primeiros 7 dias. Em sistemas de recirculação de aquicultura, o nitrato tende a se acumular como produto final no processo de nitrificação, porém com alto carbono para nitrogênio (C/N), bactérias heterotróficas irão assimilar o nitrogênio amoniacal em proteína, evitando a produção de nitrito e nitrato (Timmons et al., 2018). A remoção do nitrogênio-nitrato também pode ocorrer por desnitrificação (Wongkiew et al., 2017), um processo que é normalmente usados para tratar resíduos da aquicultura e tem-se observado sua intensificação por meios orgânicos (Saliling et al., 2017). Além disso, no sistema aquapônico, o nitrato é o principal composto de nitrogênio absorvido pela planta, embora uma baixa absorção normalmente ocorra no estágio inicial (Sterzelecki et al., 2021). Portanto, em nosso estudo os organismos fototróficos nos canteiros com tratamento de 15 cm podem ter sido os principais responsáveis pela remoção de nitrato.

O segundo macronutriente mais essencial na aquaponia é o fósforo, presente em diferentes formas de fosfato (Lennard e Goddek, 2019). Grande quantidade de perda de fosfato pode ocorrer rapidamente por absorção de substrato, ou lentamente, quando precipita com cálcio e é removida com

lodo (Lennard e Goddek, 2019; Silber, 2019). No presente estudo, a semente de açaí teve um efeito agudo sobre o fosfato na água entre os tratamentos, mas não a exposição a longo prazo, embora todos eles tenham diminuído significativamente após 21 ou 28 dias.

4.2 Desempenho vegetal

Na perspectiva de produção das plantas, a primeira germinação foi observada após 9 dias da transferência para o leito hidropônico em todos os tratamentos. No entanto, após 11 dias experimentais, o fluxo de água de 10 cm através da semente de açaí germinou 7 e 30 vezes mais superficialmente, do que o fluxo de água de 5 e 15 cm, respectivamente. Sendo consideradas as sementes que ficam na superfície, a fim de se evitar manusear as sementes das camadas mais profundas do leito, evitando uma possível alteração na qualidade de água, O açaí é uma espécie amazônica que habita áreas alagadas, porém a disponibilidade de água e ar são essenciais para a quebra de dormência das sementes, conforme verificado neste estudo e no anterior (de Sousa et al., 2018; Lima et al., 2018; Silvestre et al., 2016). Os primeiros estudos apontaram para uma germinação mais lenta da planta no sistema convencional, com a primeira planta emergindo após duas semanas (Carvalho e Nascimento, 2018).

O açaí está adaptado às condições de inundação, que oscilam com o período chuvoso e mais chuvoso (Silvestre et al., 2017), porém neste estudo o desenvolvimento da planta foi negativo em relação ao nível da água, diminuindo 300% da altura da planta, a 15 cm, portanto, o sistema de transbordamento não beneficia o açaí para o crescimento de muda, provavelmente do oxigênio disponível, que afetou a mobilização de reservas da muda inicial de açaí (Gonçalves et al., 2010). Apesar da maior velocidade e porcentagem de germinação no tratamento de 10 cm, ficou claro que a 5 cm o crescimento das plantas aumentou significativamente. No sistema aquapônico, é possível produzir mais de 1300 mudas de “palito” por m² para serem transplantadas para o recipiente de mudas de crescimento.

4.3 Crescimento de peixes

Tambaqui é uma espécie tolerante à variação do oxigênio e alta densidade na aquicultura de recirculação (Santos et al., 2021). Além disso, apresenta maior crescimento em águas levemente ácidas (Aride et al., 2007), assim como a maioria das plantas (Goddek et al., 2019), portanto, reúne uma condição única para a aquicultura integrada. Este é o primeiro estudo produzindo tambaqui em sistema

aquapônico com resultados conclusivos e, qualquer que seja a qualidade da água, não foram observados efeitos significativos no desempenho dos peixes. Após 1 mês em confinamento aquapônico, não ocorreu mortalidade e o ganho de peso diário de quase 10 g indica boas condições de cultivo, semelhante ao alcançado em estudo recente realizado em sistema de recirculação de aquicultura com tambaqui (Santos et al., 2021).

A taxa de conversão alimentar geral encontrada, foi também semelhante ao encontrado em estudo anterior com tambaqui criado em aquicultura de recirculação, em que, 1,5 a 2 kg de ração foram convertidos em um kg de peso vivo (Lima et al., 2019). De acordo com a abordagem de Timmons et al. (2018), neste nível de conversão alimentar, o tambaqui estava produzindo 1.17 mg L⁻¹ por dia, após 30 dias, o qual foi removido de forma eficiente pela semente de açaí.

5. Conclusão

Resumindo, com base em nossos resultados, o resíduo da produção de polpa de açaí melhorou a qualidade de água, removeu com eficiência a amônia e o nitrato no nível de 15 cm. No entanto, a maior germinação, crescimento e produção de mudas de açaí ocorreu no nível de 5 cm e não foram observados efeitos significativos no desenvolvimento do tambaqui. Mais estudos devem ser realizados sobre a microbiota implantada no açaí, identificando e relacionando sua contribuição na qualidade da água.

Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer a Luiz José Corrêa Jorge pela contribuição para este estudo, pela pesquisa aquapônica, amizade, e reflexões, que infelizmente foi interrompido pelo COVID 19. Nossos sinceros agradecimentos por compartilhar seus conhecimentos. Este estudo foi financiado pela CAPES, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Projeto nº 88887.2005888/2018-00, PROCAD Amazônia.

Referências

- Alam, M.N.H.Z., Othman, N.S.I.A., Samsunin, S.A., Johari, A., Hassim, M.H., Kamaruddin, M.J., 2020. Carbonized Rice Husk and Cocopeat as Alternative Media Bed for Aquaponic System. *Sains Malaysiana* 49, 483–492.
- APHA, 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, in: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. p. 1000.
- Aride, P.H.R., Roubach, R., Val, A.L., 2007. Tolerance response of tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier) to water pH. *Aquac. Res.* 38, 588–594.
- Arruda, J. de C.B., Fonseca, L.A.B. da, Pinto, L.C.P., Pinheiro, H.C. de O., Monteiro, B.T.O., Manno, M.C., Lima, K.R. de S., Lima, A.R. de, 2018. Açai seed bran in the feed of slow-growth broilers. *Acta Amaz.* 48, 298–303.
- Barbosa, A. de M., Rebelo, V.S.M., Martorano, L.G., Giacon, V.M., 2019. Caracterização de partículas de açai visando seu potencial uso na construção civil. *Matéria (Rio Janeiro)* 24.
- Barbosa, P.O., Pala, D., Silva, C.T., de Souza, M.O., do Amaral, J.F., Vieira, R.A.L., de Freitas Folly, G.A., Volp, A.C.P., de Freitas, R.N., 2016. Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp dietary intake improves cellular antioxidant enzymes and biomarkers of serum in healthy women. *Nutrition* 32, 674–680.
- Bichara, C.M.G., Rogez, H., 2011. Açai (*Euterpe oleracea* Martius), in: *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*. Elsevier, pp. 1-27e.
- Bolleter, W.T., Bushman, C.J., Tidwell, P.W., 1961. Spectrophotometric determination of ammonia as indophenol. *Anal. Chem.* 33, 592–594.
- Carvalho, J.E.U. de, Nascimento, W., 2018. Technological innovations in the propagation of Açai palm and Bacuri. *Rev. Bras. Frutic.* 40.
- de Oliveira, M. do S.P., de Farias Neto, J.T., da Silva Pena, R., 2007. Açai: técnicas de cultivo e processamento. *CEP* 60, 2.
- de Sousa Ribeiro, L.A., Thim, G.P., Alvarez-Mendez, M.O., dos Reis Coutinho, A., de Moraes, N.P., Rodrigues, L.A., 2018. Preparation, characterization, and application of low-cost açai seed-based activated carbon for phenol adsorption. *Int. J. Environ. Res.* 12, 755–764.

- de Souza, P.A., dos Santos, A.F., Gonçalves, D.S., Venturin, N., 2018. The effect of the rehydration on seed germination of açai (*Euterpe oleracea* Mart.). *Rev. Ciências Agroveterinárias* 17, 286–291.
- dos Santos Silva, S., da Silva, G.F., de Freitas Castro, D., 2017. Utilização de fibras do mesocarpo e caroço do açai como componente de misturas de areia asfalto para a pavimentação na cidade de Manaus/AM. *J. Eng. Exact Sci.* 3, 627–633.
- Erlacher, W.A., de Oliveira, F.L., da Silva, D.M.N., Quaresma, M.A.L., Mendes, T.P., 2017. Estratégias de uso de caroço de açai para formulação de substratos na produção de mudas de hortaliças. *Magistra* 28, 119–130.
- Freitas, M.A.B., Magalhães, J.L.L., Carmona, C.P., Arroyo-Rodríguez, V., Vieira, I.C.G., Tabarelli, M., 2021. Intensification of açai palm management largely impoverishes tree assemblages in the Amazon estuarine forest. *Biol. Conserv.* 261, 109251.
- Goddek, S., Joysse, Al., Kotzen, B., Burnell, G.M., 2019. *Aquaponic food production systems*. Springer, Switzerland.
- Gonçalves, J.F. de C., Lima, R.B.S., Fernandes, A.V., Borges, E.E. de L., Buckeridge, M.S., 2010. Physiological and biochemical characterization of the assai palm (*Euterpe oleracea* Mart.) during seed germination and seedling growth under aerobic and anaerobic conditions. *Rev. Árvore* 34, 1045–1053.
- Gonçalves Junior, A.C., Coelho, G.F., Schwantes, D., Rech, A.L., Campagnolo, M.Â., Miola, A.J., 2016. **Biosorption of Cu (II) and Zn (II) with açai endocarp *Euterpe oleracea* M. in contaminated aqueous solution.** *Acta Sci. Technol.* 38. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v38i3.28294>
- IBGE, 2021. *Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura: Tabela 289*.
- Lennard, W., Goddek, S., 2019. *Aquaponics: the basics*. *Aquaponics food Prod. Syst.* 113.
- Lima, J. de F., Montagner, D., Duarte, S.S., Yoshioka, E.T.O., Dias, M.K.R., Tavares-Dias, M., 2019. Recirculating system using biological aerated filters on tambaqui fingerling farming. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 54.
- Lima, J.M.E., Oliveira, J.A., Smiderle, O.J., Lousado, A.V.C., Carvalho, M.L.M. de, 2018. Physiological performance of açai seeds (*Euterpe oleracea* Mart.) stored with different moisture

- contents and treated with fungicide. *J. Seed Sci.* 40, 135–145.
- Maguire, J.D., 1962. Speed of germination—Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor 1. *Crop Sci.* 2, 176–177.
- Martins, L.S., Silva, N.G.S., Claro, A.M., Amaral, N.C., Barud, H.S., Mulinari, D.R., 2021. Insight on açai seed biomass economy and waste cooking oil: Eco-sorbent castor oil-based. *J. Environ. Manage.* 293, 112803.
- Melo, P.S., Selani, M.M., Gonçalves, R.H., de Oliveira Paulino, J., Massarioli, A.P., de Alencar, S.M., 2021. Açai seeds: An unexplored agro-industrial residue as a potential source of lipids, fibers, and antioxidant phenolic compounds. *Ind. Crops Prod.* 161, 113204.
- Pascual, J.A., Ceglie, F., Tuzel, Y., Koller, M., Koren, A., Hitchings, R., Tittarelli, F., 2018. Organic substrate for transplant production in organic nurseries. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 38, 1–23.
- Peterson, R., Jensen, P., 1989. The role of bacteria in pH increase of nettle water. *Plant Soil* 113, 137–140.
- Pinho, S.M., David, L.H., Garcia, F., Keesman, K.J., Portella, M.C., Goddek, S., 2021. South American fish species suitable for aquaponics: a review. *Aquac. Int.* 1–23.
- Queiroz, L.S., de Souza, L.K.C., Thomaz, K.T.C., Lima, E.T.L., da Rocha Filho, G.N., do Nascimento, L.A.S., de Oliveira Pires, L.H., Faial, K. do C.F., da Costa, C.E.F., 2020. Activated carbon obtained from amazonian biomass tailings (acai seed): Modification, characterization, and use for removal of metal ions from water. *J. Environ. Manage.* 270, 110868.
- Rakocy, J.E., Timmons, M.B., Ebeling, J.M., 2018. Chapter 19. Aquaponics: Integrating fish and plant culture. *Cayuga Aqua Ventur. LLC Free. NY, USA* 860.
- Raviv, M., Lieth, J.H., Bar-Tal, A., 2019. Soilless culture: Theory and practice, *Soilless Culture: Theory and Practice Theory and Practice*. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-01470-8>
- Ribeiro, F.O., Fernandes, A.R., Galvão, J.R., de Matos, G.S.B., Lindolfo, M.M., dos Santos, C.R.C., Pacheco, M.J.B., 2020. DRIS and geostatistics indices for nutritional diagnosis and enhanced yield of fertirrigated acai palm. *J. Plant Nutr.* 43, 1875–1886.
- Saliling, W.J.B., Westerman, P.W., Losordo, T.M., 2007. Wood chips and wheat straw as alternative biofilter media for denitrification reactors treating aquaculture and other wastewaters with high

- nitrate concentrations. *Aquac. Eng.* 37, 222–233.
- Santos, F.A.C., Boaventura, T.P., da Costa Julio, G.S., Cortezzi, P.P., Figueiredo, L.G., Favero, G.C., Palheta, G.D.A., de Melo, N.F.A.C., Luz, R.K., 2021. Growth performance and physiological parameters of *Colossoma macropomum* in a recirculating aquaculture system (RAS): Importance of stocking density and classification. *Aquaculture* 534, 736274.
- Sato, M.K., de Lima, H.V., Costa, A.N., Rodrigues, S., Pedroso, A.J.S., de Freitas Maia, C.M.B., 2019. Biochar from Acai agroindustry waste: Study of pyrolysis conditions. *Waste Manag.* 96, 158–167.
- Silber, A., 2019. Chemical characteristics of soilless media, in: *Soilless Culture*. Elsevier, pp. 113–148.
- Silvestre, W.V.D., Pinheiro, H.A., Souza, R.O.R. de M., Palheta, L.F., 2016. Morphological and physiological responses of açai seedlings subjected to different watering regimes. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 20, 364–371.
- Silvestre, W.V.D., Silva, P.A., Palheta, L.F., de Oliveira Neto, C.F., de Melo Souza, R.O.R., Festucci-Buselli, R.A., Pinheiro, H.A., 2017. Differential tolerance to water deficit in two açai (*Euterpe oleracea* Mart.) plant materials. *Acta Physiol. Plant.* 39, 1–10.
- Sterzelecki, F.C., Santos, G.R., de Gusmão, M.T.A., de Carvalho, T.C.C., dos Reis, A.R., Guimarães, R., Santos, M. de L.S., de Melo, N.F.A.C., Luz, R.K., Palheta, G.D.A., 2021. Effects of hydroponic supplementation on Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum* Heller, 1862) and lettuce seedling (*Lactuca sativa* L.) development in aquaponic system. *Aquaculture* 543, 736916.
- Timmons, M.B., Guerdat, T., Vinci, B.J., 2018. *Recirculating Aquaculture*, 4rd ed. Ithaca Publishing Company LLC, New York.
- Tyson, R. V, Simonne, E.H., White, J.M., Lamb, E.M., 2004. Reconciling water quality parameters impacting nitrification in aquaponics: the pH levels, in: *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*. pp. 79–83.
- Wongkiew, S., Hu, Z., Chandran, K., Lee, J.W., Khanal, S.K., 2017. Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review. *Aquac. Eng.* 76, 9–19.
- Zhang, H., Gao, Y., Shi, H., Lee, C.T., Hashim, H., Zhang, Z., Wu, W.-M., Li, C., 2020. Recovery of nutrients from fish sludge in an aquaponic system using biological aerated filters with ceramsite plus lignocellulosic material media. *J. Clean. Prod.* 258, 120886.