



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIA – FCA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E RECURSOS
PESQUEIROS – PPGCARP



**PERFIL DE SUSTENTABILIDADE DA PISCICULTURA DO TAMBAQUI
(*Colossoma macropomum*) SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO E
INTENSIFICAÇÃO**

CARLOS ANDRÉ SILVA LIMA

MANAUS-AM
Julho, 2025

CARLOS ANDRÉ SILVA LIMA

Tese de Doutorado

**PERFIL DE SUSTENTABILIDADE DA PISCICULTURA DO TAMBAQUI
(*Colossoma macropomum*) SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO E
INTENSIFICAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros.

Área de Concentração: Uso Sustentável de Recursos Pesqueiros

Linha de Pesquisa: Manejo e Conservação de Recursos Pesqueiros

Orientadora: Kedma Cristine Yamamoto, Dra.

Coorientador: Jackson Pantoja Lima, Dr.

MANAUS-AM
Julho, 2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

L732p Lima, Carlos André Silva
 Perfil de sustentabilidade da piscicultura do tambaqui (*Colossoma macropomum*) sob diferentes sistemas de manejo e intensificação / Carlos André Silva Lima. - 2025.
 239 f. : il., color. ; 31 cm.

 Orientador(a): Kedma Cristine Yamamoto.
 Coorientador(a): Jackson Pantoja Lima.
 Tese (doutorado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros, Manaus, 2025.

 1. Benefício. 2. Eficiência. 3. Indicadores. 4. Intensificação. 5. Viabilidade. I. Yamamoto, Kedma Cristine. II. Lima, Jackson Pantoja. III. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros. IV. Título

CARLOS ANDRÉ SILVA LIMA

**PERFIL DE SUSTENTABILIDADE DA PISCICULTURA DO TAMBAQUI
(*Colossoma macropomum*) SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO E
INTENSIFICAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros.

Aprovado em 11 de julho de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



KEDMA CRISTINE YAMAMOTO
Data: 15/07/2025 17:54:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Kedma Cristine Yamamoto – Presidente
Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente



JESAIAS ISMAEL DA COSTA
Data: 14/07/2025 10:44:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jesaias Ismael da Costa – Membro
Universidade Federal do Amazonas

Documento assinado digitalmente



PAULO HENRIQUE ROCHA ARIDE
Data: 14/07/2025 09:17:56-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Paulo Henrique Rocha Aride – Membro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas

Documento assinado digitalmente



ALZIRA MIRANDA DE OLIVEIRA
Data: 11/07/2025 22:20:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Alzira Miranda de Oliveira – Membro
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas

Documento assinado digitalmente



WAGNER COTRONI VALENTI
Data: 11/07/2025 22:11:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Wagner Cotroni Valenti – Membro
Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

À minha amada esposa Sâmia e
preciosa filha Rebeca, por nunca
terem desistido de mim.

Eu DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu senhor Jesus Cristo, único Deus, redentor e suficiente salvador da minha vida, que através da sua infinita misericórdia e amor me permitiu estar aqui hoje vivo, tendo oportunidade de alcançar este objetivo para honra e glória do Seu santo nome.

A minha querida esposa Sâmia, minha metade, que sofreu comigo durante todo este período, se dedicando, sacrificando e se doando por mim neste árduo objetivo. Você tem grande participação nesta realização e certamente colherá comigo os frutos desta vitória.

A minha filha amada Rebeca, que me deu um propósito a cumprir como pai. Que este resultado seja fonte de inspiração para que se torne uma pessoa melhor e que alcance objetivos maiores que os meus.

A minha orientadora Profa. Dra. Kedma Yamamoto, pelo auxílio dispendidos na execução deste trabalho. Sem seus valiosos conhecimentos para a concretização deste projeto não teria sido possível.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Jackson Pantoja, por ter me orientado durante o mestrado e atualmente tendo contribuído significativamente para a conclusão do doutorado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros – PPG-CARP e à Universidade Federal do Amazonas – UFAM, que por meio do seu quadro administrativo e corpo docentes, apoiam de forma competente seus discentes no cumprimento de todos os objetivos.

A todos os meus familiares, principalmente ao meu pai, Carlos, que foi o maior responsável por me fazer ter amor pelos estudos. Seu sacrifício para que eu fosse bem instruído fez com que eu chegasse até aqui.

Ao Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas – IPAAM, que através de seu corpo de servidores superiores responsáveis, autorizaram a realização do doutorado em consonância com a minha função profissional nesta renomada casa, trabalho este que tanto amo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM pelo suporte financeiro à execução deste projeto de pesquisa com recursos dos Editais FAPEAM N° 011/2022 PROGRAMA CIÊNCIA NA GESTÃO PÚBLICA – PCGP/FAPEAM e N° 008/2022 PROGRAMA KUNHÃ – C, T & I NO AMAZONAS.

Aos amigos Cristiano Amorim, Fabíola Barão, Felipe Lavareda, Leonardo Maeda e Marcondes Júnior, bem como minha bolsista Adria Lavareda e demais colegas e colaboradores que me auxiliaram nas coletas e análises de dados das fazendas. Reconheço que sem a ajuda necessária destas pessoas, não seria possível concluir este estudo, por isso demonstro aqui toda a minha gratidão e respeito.

Aos piscicultores, que autorizaram a realização da pesquisa nas fazendas, auxiliando na coleta de dados e permitindo acesso a todas as informações técnicas e administrativas necessárias na aplicação das metodologias. Tenho certeza que os resultados gerados através do apoio destes valiosos e incansáveis produtores rurais, irão cooperar para o aprimoramento do setor produtivo da aquicultura no estado do Amazonas.

A todos que contribuíram, direta e indiretamente para a execução deste trabalho, o meu muito obrigado por terem me ajudado a realizar este sonho.

A pessoa que acompanha a multidão normalmente não vai além da multidão. A pessoa que anda sozinha provavelmente chegará a lugares onde ninguém esteve antes.

–Albert Einstein

RESUMO

A aquicultura mundial vem passando por um período de adaptação frente às grandes mudanças relacionadas a questões ambientais e socioeconômicas. Neste sentido, este estudo buscou avaliar a sustentabilidade da piscicultura do tambaqui (*Colossoma macropomum*) através do desempenho de diferentes estratégias de intensificação e métodos de manejo aplicados no cultivo. O primeiro capítulo abordou o conceito de sustentabilidade, a evolução da sua definição e aplicabilidade aos modelos de produção atuais, considerando a capacidade de melhoria da eficiência produtiva pela redução do consumo de recursos naturais. Métodos de avaliação da sustentabilidade foram observados, enfatizando a objetividade prática da utilização do conjunto de indicadores para mensurar a sustentabilidade da produção de espécies aquícolas, entre elas o tambaqui. O segundo capítulo buscou avaliar o desempenho zootécnico do tambaqui de engorda cultivado em fazendas operacionais, considerando três modelos de intensificação. Foram utilizados nove empreendimentos, igualmente distribuídos entre as referidas estratégias: *Baixa Eficiência Produtiva (BEP)* – 6 a 8 ton ano⁻¹ sem aeração; *Média Eficiência Produtiva (MEP)* – 9 a 14 ton ano⁻¹ com aeração emergencial e *Alta Eficiência Produtiva (AEP)* – 15 a 22 ton ano⁻¹ com aeração suplementar. Informações de manejo e índices de desempenho foram obtidos durante o ciclo de produção e comparados. Os resultados demonstraram diferença ($p < 0,05$) entre os sistemas, com melhores resultados gerais para *AEP* no peso final (2.726,53 ± 136,99 g), ganho de peso (2.719,98 ± 133,84 g) e Conversão Alimentar Aparente (1,82 ± 0,02) devido ao maior cuidado no manejo. Recomenda-se a adoção de estratégias de intensificação para otimização no uso de recursos e aumento da escala de produção do tambaqui. O terceiro capítulo avaliou o desempenho econômico das fazendas sob as mesmas estratégias produtivas, através de indicadores de rentabilidade e viabilidade, com base nas informações zootécnicas, de investimentos e gestão coletados. As características de cultivo impactaram os resultados, com maior volume de comercialização de *AEP* gerado pela alta produtividade. O valor presente líquido indicou retorno negativo em todas as pisciculturas de *BEP* e em duas de *MEP*. A taxa de retorno apresentou valor acima da taxa de atratividade (12,81%) em uma piscicultura de *MEP* (19,36%) e duas de *AEP* (14,66% e 22,54%), das quais ocorreu a melhor recuperação do capital (3,86 anos). A intensificação da produção do tambaqui em tanques escavados tem grande influência sobre o desempenho econômico da atividade, sendo determinante para a redução dos riscos neste agronegócio. O quarto capítulo buscou avaliar a sustentabilidade do cultivo do tambaqui através de um conjunto de indicadores para as dimensões ambiental, econômica e social. Amostras de água, sedimentos, peixes e entrevistas com piscicultores e funcionários foram realizadas para obtenção de um Índice Geral de Sustentabilidade (IGS) para comparação entre os modelos. A dimensão ambiental demonstrou aumento da eficiência no uso de recursos e contrabalanceamento no lançamento poluentes com a intensificação. No entanto, a vulnerabilidade ecológica de *AEP* (88,89 ± 19,25 %) e adequação ambiental de *BEP* (38,89 ± 9,62%) expõem deficiência no cumprimento de requisitos legais. Na dimensão econômica é ressaltada viabilidade somente de *AEP* pela taxa de retorno (16,56 ± 5,30%) e recuperação do capital (4,83 ± 0,87 anos), com a baixa inovação de *BEP* (21,21 ± 5,25%) e mal gerenciamento de *MEP* (22,22 ± 19,25%), podendo justificar o desempenho ruim destes empreendimentos. Para a dimensão social, todas as fazendas demandam pouco uso de mão-de-obra e retenção de empregos, com maior renda (R\$ 19.454,22 ± 143,79 h. ciclo⁻¹), equidade salarial (55,28 ± 0,00%) e trabalhadores com educação (13,33 ± 11,55%) para *BEP*. Na comparação entre as dimensões, *AEP* foi a mais equilibrado, com melhor IGS classificando essa estratégia como a mais sustentável. A intensificação é um fator determinante para o aumento da sustentabilidade da piscicultura do tambaqui, que além de gerar melhor uso de insumos e aumento do retorno financeiro aos piscicultores, produz benefícios aos demais atores envolvidos na atividade.

Palavras-chave: Eficiência, indicadores, intensificação, manejo, viabilidade.

ABSTRACT

Global aquaculture is undergoing a period of adaptation in the face of significant changes related to environmental and socioeconomic issues. In this context, this study sought to evaluate the sustainability of tambaqui (*Colossoma macropomum*) farming by examining the performance of different intensification strategies and management methods applied to its cultivation. The first chapter addressed the concept of sustainability, the evolution of its definition, and its applicability to current production models, considering the potential for improving productive efficiency by reducing the consumption of natural resources. Sustainability assessment methods were observed, emphasizing the practical use of a set of indicators to measure the sustainability of producing aquaculture species, including tambaqui. The second chapter aimed to evaluate the zootechnical performance of fattening tambaqui cultivated on operational farms, considering three intensification models. Nine enterprises were used, equally distributed among these strategies: *Low Productive Efficiency (LPE)* – 6 to 8 tons year⁻¹ without aeration; *Medium Productive Efficiency (MPE)* – 9 to 14 tons year⁻¹ with emergency aeration; and *High Productive Efficiency (HPE)* – 15 to 22 tons year⁻¹ with supplemental aeration. Management information and performance indices were obtained and compared during the production cycle. The results showed a difference ($p < 0.05$) between the systems, with better overall results for *HPE* in final weight ($2,726.53 \pm 136.99$ g), weight gain ($2,719.98 \pm 133.84$ g), and Apparent Feed Conversion (1.82 ± 0.02) due to more careful management. The adoption of intensification strategies is recommended for optimizing resource use and increasing the scale of tambaqui production. The third chapter evaluated the economic performance of the farms under the same productive strategies, using profitability and viability indicators based on collected zootechnical, investment, and management information. Cultivation characteristics impacted the results, with a higher volume of sales generated by the high productivity of *HPE*. The net present value indicated a negative return in all *LPE* fish farms and in two *MPE* ones. The rate of return was above the minimum attractive rate (12.81%) in one *MPE* fish farm (19.36%) and two *HPE* fish farms (14.66% and 22.54%), which also had the best payback period (3.86 years). The intensification of tambaqui production in excavated ponds has a great influence on the economic performance of the activity, being a determining factor in reducing risks in this agribusiness. The fourth chapter sought to evaluate the sustainability of tambaqui cultivation through a set of indicators for the environmental, economic, and social dimensions. Water, sediment, and fish samples were collected, and interviews with fish farmers and employees were conducted to obtain a General Sustainability Index (GSI) for comparison among the models. The environmental dimension showed an increase in resource use efficiency and a counterbalance in pollutant discharge with intensification. However, the ecological vulnerability of *HPE* ($88.89 \pm 19.25\%$) and the environmental adequacy of *LPE* ($38.89 \pm 9.62\%$) expose deficiencies in meeting legal requirements. In the economic dimension, viability is highlighted only for *HPE* due to the rate of return ($16.56 \pm 5.30\%$) and capital recovery (4.83 ± 0.87 years), with low innovation in *LPE* ($21.21 \pm 5.25\%$) and poor management in *MPE* ($22.22 \pm 19.25\%$) possibly justifying the poor performance of these enterprises. For the social dimension, all farms demand little labor and job retention, with higher income (R\$ $19,454.22 \pm 143.79$ m. cycle⁻¹), wage equity ($55.28 \pm 0.00\%$), and educated workers ($13.33 \pm 11.55\%$) for *LPE*. When comparing the dimensions, *HPE* was the most balanced, with the best GSI, classifying this strategy as the most sustainable. Intensification is a determining factor for increasing the sustainability of tambaqui farming, which, in addition to generating better use of inputs and increased financial returns for fish farmers, also produces benefits for other stakeholders involved in the activity.

Keywords: Efficiency, indicators, intensification, management, viability.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II – DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E DE CRESCIMENTO DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*) SOB DIFERENTES MODELOS PRODUTIVOS DE INTENSIFICAÇÃO

Figura 01.	Área de estudo com localização dos empreendimentos selecionados.	54
Figura 02.	Relação peso-comprimento do cultivo de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.	66
Figura 03.	Fator de Condição Relativo (k_n) do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) no período de cultivo em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.....	67
Figura 04.	Curvas de crescimento de von Bertalanfy (A e B) e Taxa de Crescimento Instantânea (TCI) (C e D) em função do tempo para peso (W_t) e comprimento (L_t) médios, ajustada para cultivo de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.....	69

CAPÍTULO III – EFEITO DA INTENSIFICAÇÃO SOBRE A VIABILIDADE ECONÔMICA DA PISCICULTURA COMERCIAL DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*)

Figura 01.	Área de estudo com localização dos empreendimentos selecionados.	105
Figura 02.	Participação dos insumos sobre o custo operacional efetivo no cultivo de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em empreendimentos com diferentes níveis de eficiência produtiva na Amazônia Central.....	118

CAPÍTULO IV – INFLUÊNCIA DA ESTRATÉGIA PRODUTIVA SOBRE A SUSTENTABILIDADE DA PISCICULTURA DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*)

Figura 01.	Área de estudo com localização dos empreendimentos selecionados.	151
Figura 02.	Resultados (média \pm DP) dos indicadores de nitrogênio (A), fósforo (B), sólidos em suspensão (C) e sedimentos (D) que compõem o lançamento de efluentes em três períodos do cultivo do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) na Amazônia Central.....	169
Figura 03.	Desempenho dos aspectos da sustentabilidade ambiental para os diferentes níveis de eficiência produtiva do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) na Amazônia Central.....	174
Figura 04.	Desempenho dos aspectos da sustentabilidade econômica para os diferentes níveis de eficiência produtiva do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) na Amazônia Central.....	176
Figura 05.	Desempenho dos aspectos da sustentabilidade social para os diferentes níveis de eficiência produtiva do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) na Amazônia Central.....	177
Figura 06.	Triângulo de sustentabilidade com disposição espacial dos diferentes níveis de eficiência produtiva do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) na Amazônia.	179

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II – DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E DE CRESCIMENTO DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*) SOB DIFERENTES MODELOS PRODUTIVOS DE INTENSIFICAÇÃO

Tabela 01.	Parâmetros de cultivo e desempenho zootécnicos de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.	60
Tabela 02.	Parâmetros de qualidade de água coletados nos empreendimentos de piscicultura de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) na Amazônia Central.....	61
Tabela 03.	Valores médios (\pm desvio-padrão) dos índices de desempenho do cultivo de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas Amazônia Central.	63
Tabela 04.	Equação de potência e logarítmica da relação peso-comprimento, coeficiente de determinação e tipo de crescimento do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) cultivado em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.	65
Tabela 05.	Parâmetros da equação de crescimento do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) cultivado em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.	68

CAPÍTULO III – EFEITO DA INTENSIFICAÇÃO SOBRE A VIABILIDADE ECONÔMICA DA PISCICULTURA COMERCIAL DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*)

Tabela 01.	Parâmetros de desempenho produtivo do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.	113
Tabela 02.	Investimento de cultivo do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) com diferentes níveis de eficiência produtiva na Amazônia Central.	115
Tabela 03.	Custos de produção por ciclo do cultivo de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em empreendimentos com diferentes níveis de eficiência produtiva na Amazônia Central.	117
Tabela 04.	Rentabilidade econômica do cultivo de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em empreendimento com diferentes níveis de eficiência produtiva na Amazônia Central.	120
Tabela 05.	Viabilidade econômica do cultivo de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em empreendimento com diferentes níveis de eficiência produtiva na Amazônia Central.	121

CAPÍTULO IV – INFLUÊNCIA DA ESTRATÉGIA PRODUTIVA SOBRE A SUSTENTABILIDADE DA PISCICULTURA DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*)

Tabela 01.	Indicadores de sustentabilidade para o atributo de dimensão ambiental em análise de pisciculturas de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em viveiros escavados.	154
Tabela 02.	Indicadores de sustentabilidade para o atributo de dimensão econômica em análise de pisciculturas de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em viveiros escavados.	157
Tabela 03.	Indicadores de sustentabilidade para o atributo de dimensão social em análise de pisciculturas de tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em viveiros escavados.	161
Tabela 04.	Parâmetros de produção do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.	166
Tabela 05.	Parâmetros de sustentabilidade do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.	167
Tabela 06.	Parâmetros de desempenho ambiental do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.	168
Tabela 07.	Parâmetros de desempenho econômico do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.	170

Tabela 08.	Parâmetros de desempenho social do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.	172
Tabela 09.	Índices de desempenho ambiental do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.	175
Tabela 10.	Índices de desempenho econômico do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.	176
Tabela 11.	Índices de desempenho social do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.	178
Tabela 12.	Desempenho dos níveis de eficiência produtiva do tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>) sob as dimensões de sustentabilidade em pisciculturas na Amazônia Central.	179

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS.....	ix

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO GERAL

1. INTRODUÇÃO	15
2. O CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE APLICADO À AQUICULTURA	18
2.1. A SUSTENTABILIDADE COMO NOVA ESTRATÉGIA DE PRODUÇÃO	18
2.2. OS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE	20
2.3. OS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE PARA A AQUICULTURA	24
3. A SUSTENTABILIDADE E A INTENSIFICAÇÃO DO TAMBAQUI.....	28
REFERÊNCIAS	32

CAPÍTULO II – DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E DE CRESCIMENTO DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*) SOB DIFERENTES MODELOS PRODUTIVOS DE INTENSIFICAÇÃO

RESUMO	51
1. INTRODUÇÃO	52
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	54
2.1. ÁREA DE ESTUDO	54
2.2. DESENHO AMOSTRAL.....	55
2.3. MANEJO DOS VIVEIROS.....	55
2.4. ÍNDICES DE DESEMPENHO	57
2.5. QUALIDADE DE ÁGUA	59
2.6. ANÁLISE DOS DADOS.....	60
3. RESULTADOS.....	60
3.1. CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO	60
3.2. QUALIDADE DE ÁGUA	61
3.3. DESEMPENHO ZOOTÉCNICO	62
3.4. RELAÇÃO PESO-COMPIMENTO	64
3.5. CURVA DE CRESCIMENTO	67
4. DISCUSSÃO	70
4.1. DESEMPENHO PRODUTIVO.....	70
4.2. QUALIDADE DE ÁGUA	71
4.3. DESEMPENHO ZOOTÉCNICO	73
4.4. RELAÇÃO PESO-COMPIMENTO	76
4.5. MODELOS DE CRESCIMENTO.....	78
5. CONCLUSÃO	79
REFERÊNCIAS	81

**CAPÍTULO III – EFEITO DA INTENSIFICAÇÃO SOBRE A VIABILIDADE ECONÔMICA DA
PISCICULTURA COMERCIAL DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*)**

RESUMO	102
1. INTRODUÇÃO	103
2. MATERIAIS E MÉTODOS	105
2.1. ÁREA DE ESTUDO	105
2.2. LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES PRODUTIVAS	106
2.3. OBTENÇÃO DE DADOS ECONÔMICOS	107
2.3.1. Dados de investimento	107
2.3.2. Dados de custos	107
2.4. ANÁLISE ECONÔMICA DAS PISCICULTURAS	109
2.4.1. Indicadores de rentabilidade	109
2.4.2. Indicadores de viabilidade	110
3. RESULTADOS	113
3.1. CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO	113
3.2. RESULTADOS DE INVESTIMENTO	114
3.3. RESULTADOS DE CUSTOS	116
3.4. DESEMPENHO ECONÔMICO	119
3.4.1. Resultado da rentabilidade	119
3.4.2. Resultado da viabilidade	121
4. DISCUSSÃO	122
4.1. DESEMPENHO PRODUTIVO	122
4.2. PERFORMANCE DE INVESTIMENTO	125
4.3. PERFORMANCE DE CUSTOS	126
4.4. DESEMPENHO ECONÔMICO	128
4.4.1. Avaliação da rentabilidade	128
4.4.2. Avaliação da viabilidade	130
5. CONCLUSÃO	132
REFERÊNCIAS	134

**CAPÍTULO IV – INFLUÊNCIA DA ESTRATÉGIA PRODUTIVA SOBRE A SUSTENTABILIDADE
DA PISCICULTURA DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*)**

RESUMO	148
1. INTRODUÇÃO	149
2. MATERIAIS E MÉTODOS	151
2.1. ÁREA DE ESTUDO	151
2.2. CARACTERÍSTICAS DAS PISCICULTURAS	152
2.3. COLETA DE DADOS DAS PISCICULTURAS	153
2.4. SELEÇÃO DOS INDICADORES	153
2.4.1. Dimensão ambiental	154
2.4.2. Dimensão econômica	157
2.4.3. Dimensão social	160
2.5. CÁLCULO DE DESEMPENHO DOS INDICADORES	164
2.6. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DE DESEMPENHO	165
2.7. AUTORIZAÇÃO PARA PESQUISA COM SERES HUMANOS	165
3. RESULTADOS	166
3.1. INFORMAÇÕES PRODUTIVAS	166
3.1.1. Parâmetros de produção	166
3.1.2. Parâmetros de sustentabilidade	167
3.2. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE	168
3.2.1. Indicadores ambientais	168
3.2.2. Indicadores econômicas	170
3.2.3. Indicadores sociais	171

3.3. ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE	174
3.3.1. Aspectos ambientais	174
3.3.2. Aspectos econômicos	175
3.3.3. Aspectos sociais	177
3.4. DIMENSÕES DE SUSTENTABILIDADE	178
4. DISCUSSÃO	180
4.1. DESEMPENHO DOS INDICADORES	180
4.1.1. Desempenho ambiental	180
4.1.2. Desempenho econômico	185
4.1.3. Desempenho Social	188
4.2. DESEMPENHO DOS ASPECTOS	193
4.3. DESEMPENHO GERAL	194
5. CONCLUSÃO	196
REFERÊNCIAS	198
APÊNDICES	236

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura passa atualmente por um período de crescimento com o incremento de novas tecnologias de produção (HENRIKSSON *et al.*, 2018; BOYD *et al.*, 2020; PRATIWIY *et al.*, 2022; FAO, 2024). Esse processo vem resultando em rendimentos mais elevados, ocasionando o aumento da demanda por recursos ambientais para o atendimento do consumo de pescado mundial (COSTA-PIERCE *et al.*, 2010; BLANCHARD *et al.*, 2017; BHARI & VISVANATHAN, 2018; AHMED *et al.*, 2019; KUMAR *et al.*, 2024).

Recentemente o setor vem enfrentando críticas diversas relacionadas a poluição ambiental, como por exemplo, a descargas de efluentes, as pressões sobre ecossistemas e ameaças à diversidade genética, a disseminação de doenças, a destruição de habitats estuarinos, entre outros (FRANKIC & HERSHNER, 2003; COSTA-PIERCE & PAGE, 2010; GRIGORAKIS & RIGOS, 2011; SAMUEL-FITWI *et al.* 2012; BOYD *et al.*, 2013; BOYD, C. & McNEVIN, 2014; EDWARDS, 2015; ORCHARD *et al.*, 2015; BHARI & VISVANATHAN, 2018; AHMED *et al.*, 2019; HENRIKSSON *et al.*, 2019; BOYD *et al.*, 2020; NOBILE *et al.*, 2020; FIORELLA *et al.*, 2021). Conflitos adicionais decorrentes de disputas de terras e uso de recursos também surgem, colocando em questionamentos a viabilidade ecológica, social e econômica de longo prazo da atividade (CAFFEY *et al.*, 2000; FRANKIC & HERSHNER, 2003; EDWARDS, 2015; GENTRY *et al.*, 2017; BHARI & VISVANATHAN, 2018; HENRIKSSON *et al.*, 2019; NOBILE *et al.*, 2020).

De acordo com Valenti *et al.* (2021), nos últimos anos, grandes esforços foram feitos para introduzir práticas responsáveis na aquicultura. Sistemas que consideraram conceitos de responsabilidade, tais como códigos de conduta e Boas Práticas de Manejo (BPM's) foram elaborados e implantados como forma de caminhar nessa direção (BOYD, 2003; OLIVEIRA & GALHARDO, 2007; RESENDE, 2009; BOYD, 2008; BOYD *et al.*, 2008; FERREIRA & GIL BARCELLOS, 2008; TUCKER *et al.*, 2008; QUEIROZ, 2016; NADARAJAH & FLAATEN, 2017; SILVA *et al.*, 2018; BOYD *et al.*, 2020; PUSZKARSKI & ŚNIADACH, 2022; ARSHAD *et al.*, 2024). No entanto, apesar de serem medidas que colaboram e contribuem para a melhoria da atividade, estas não devem ser confundidas com a sustentabilidade, já que se concentram tão somente no nível da produção, ignorando o ecossistema em um nível mais amplo, como questões econômicas e sociais envolvidas (EDWARDS, 2015; BHARI & VISVANATHAN, 2018; ENGLE, 2019).

Para Costa-Pierce & Page (2010), não existe ainda uma definição de sustentabilidade quando seu conceito é aplicado à aquicultura. Segundo os autores a aquicultura sustentável é um termo mais abrangente do que determinações de impactos ambientais locais específicos,

uma vez que incorpora conhecimentos científicos de impactos sistemáticos dentro e fora do sistema nos aspectos humano-ambientais combinados.

Nunes *et al.* (2016) também equalizam a importância de uma visão mais compreensiva desse conceito, quando destacam que uma produção planejada com base unicamente no mercado e nas oportunidades financeiras leva a sistemas que não se sustentam ao longo do tempo. Na prática, as imposições econômicas de crescimento implicam na inviabilidade de crescimento ilimitado, já que os recursos ambientais são limitados, apresentando o problema prático de se atribuir limites ao sistema e quantificar as consequências pelo seu uso por terceiros (VALENTI *et al.*, 2018; BOYD *et al.*, 2020).

Conforme Valenti (2008) explica, a produção da aquicultura deve ser eficiente e lucrativa, gerando e distribuindo renda. Porém, esta deve usar racionalmente os recursos naturais sem degradar os ecossistemas no qual se insere, garantindo através disso a geração de empregos e/ou auto-empregos para a comunidade local, elevando sua qualidade de vida, garantindo e respeitando sua cultura.

Vê-se que a sustentabilidade é hoje uma questão importante, tornando-se rapidamente uma prioridade também no setor de produção de organismos aquáticos (CAFFEY *et al.*, 2000; BUSH *et al.*, 2013; AHMED & THOMPSON, 2019; AMUNDSEN & OSMUNDSEN, 2020; BOYD *et al.*, 2020; BOTTEMA *et al.*, 2021; KHALID, 2022). A amplitude dos problemas econômicos, sociais e ambientais do mundo atual tem se revelado uma poderosa força geradora e propulsora de mudanças nessa realidade (BRANDER, 2007; BUSH *et al.*, 2013; GUBBINS *et al.*, 2013; DABBADIE *et al.*, 2018; AHMED *et al.*, 2019; ENGLE, 2019; COLLINS *et al.*, 2020). De fato, estratégias equivocadas que dispensam o critério ambiental e seus riscos associados – como os efeitos relacionados a mudanças climáticas, têm provocado a expansão do setor de forma desordenada e irresponsável, levando inúmeros empreendimentos à falência, trazendo prejuízos incalculáveis para empresários e proprietários rurais (BRANDER, 2007; VALENTI, 2008; SILVA & SOTO, 2009; BELL *et al.*, 2010; MOHANTY *et al.*, 2010; YAZDI & SHAKOURI, 2010; SAMUEL-FITWI *et al.*, 2012; BELL *et al.*, 2013; DOUBLEDAY *et al.*, 2013; GUBBINS *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2016; FREEMAN, 2017; HANDISYDE *et al.*, 2017; KIBRIA *et al.*, 2017; ADHIKARI *et al.*, 2018; BEVERIDGE *et al.*, 2018; DABBADIE *et al.*, 2018; NGOAN, 2018; AHMED *et al.*, 2019; ASIEDU *et al.*, 2019; HENRIKSSON *et al.*, 2019; SHARMA *et al.*, 2019; SOTO *et al.*, 2019; SUBONG & FERNANDEZ, 2019; COLLINS *et al.*, 2020; LAM *et al.*, 2020; ELSHEIKH, 2021; MAULU *et al.*, 2021; KHALID, 2022; AROYEHUN & HENRI-UKOHA, 2025).

Para que seja possível transformar esta realidade, a atividade tem que estar atrelada a uma modificação nas estratégias de políticas públicas (KRAUSE *et al.*, 2015; NADARAJAH & FLAATEN, 2017; NOBILE *et al.*, 2020; JOLLY *et al.*, 2023; PARTELOW *et al.*, 2023), além da mudança de mentalidade e atitude de seus participantes diversos (*stakeholders*), implicando a compatibilização dos modelos de produção e gestão das instituições sociais com o sistema de organização corporativa para mitigação ou até a reversão dos impactos cumulativos da atividade (BUSH *et al.*, 2013; WAAS *et al.*, 2014; KRAUSE *et al.*, 2015; LIM-CAMACHO *et al.*, 2015; SANTOS *et al.*, 2016; BLANCHARD *et al.*, 2017; FROEHLICH *et al.*, 2017; NADARAJAH & FLAATEN, 2017; VINCE & HAWARD, 2017; BHARI & VISVANATHAN, 2018; SHARMA *et al.*, 2019; AMUNDSEN & OSMUNDSEN, 2020; BOTTEMA *et al.*, 2021; PUSPITAWATI *et al.*, 2022; PARTELOW *et al.*, 2023).

Valenti *et al.* (2021) esclarecem que são necessários quatro focos de abordagem direta para o objetivo da aquicultura sustentável, que são a preservação do habitat, o uso eficiente de recursos ambientais, a rastreabilidade e a transparência, sendo esses dois últimos relacionados a demonstração de responsabilidade. Entende-se, portanto, que todas as partes devem estar envolvidas, contribuindo para um objetivo comum, relacionados aos benefícios ambientais, econômicos e sociais produzidos.

Já Froehlich *et al.* (2017) encaram a sustentabilidade na aquicultura como um processo de apoio ao uso adequado de recursos naturais, por meio da mitigação, prevenção e restauração, o qual seja baseado na conservação de ecossistemas. Para os autores a atividade deve ser voltada à reestruturação de habitats, redução da pressão sobre estoques naturais e até a minimização da pegada ambiental pela emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE). Tal abordagem é voltada a implicações ambientais e ecológicas, embora se reconheça que os impactos econômicos e sociais são obtidos indiretamente dessas práticas (FROEHLICH *et al.*, 2017; BHARI & VISVANATHAN, 2018).

Como destacam Valenti *et al.* (2018), “o desafio da construção de uma aquicultura sustentável passa por um processo de aprendizado contínuo e pela capacidade de criar sistemas capazes de responder às mudanças vindouras na situação econômica, ambiental e social”. Portanto, se tais ideias forem colocadas em execução na escala de operação de atividade, uma trajetória de desenvolvimento pode ser estabelecida não somente em metas de lucro, mas de benefícios sociais e ambientais (COSTA-PIERCE & PAGE, 2010; KRAUSE *et al.*, 2015; BHARI & VISVANATHAN, 2018; SILVA *et al.*, 2018).

2. O CONCEITO DE SUSTENTABILIDADE APLICADO À AQUICULTURA

2.1. A SUSTENTABILIDADE COMO NOVA ESTRATÉGIA DE PRODUÇÃO

As teorias relacionadas à proteção do meio ambiente podem ser consideradas recentes em relação a outros ramos da ciência. Tendo surgindo mais especificamente na década de 1970, decorrente das reflexões sobre a sociedade e sua possibilidade de colapso frente a realidade de consumo crescente, este tema ganhou e ainda vem ganhando destaque, moldando a forma como o homem atua ao utilizar os recursos do planeta (RABELO & LIMA, 2007; VEIGA, 2010).

Santos *et al.* (2016) destacam que apesar do nome “desenvolvimento sustentável” ser considerado novo, este vem evoluindo e expandindo conceitualmente de forma sistemática e continuada a partir de processos históricos relacionados a tomada de consciência sobre o aumento de problemas ambientais, crises econômicas e conflitos sociais. De acordo Rabelo & Lima (2007), o termo “desenvolvimento sustentável” foi considerado durante muito tempo como pouco compreendido. Evolutivamente, submeteu-se a processos de transformação e adaptação, ganhando inúmeras definições ao longo dos anos (CAFFEY *et al.*, 2000), passando da simples interpretação da relação sociedade-natureza, até a definição de uma forma de desenvolvimento que garante equilíbrio e continuidade no uso de recursos de forma permanente (RABELO & LIMA, 2007).

O conceito de desenvolvimento sustentável surgira inicialmente através do Relatório Brundland ou “Nosso Futuro Comum”, desenvolvido pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento das Nações Unidas no ano de 1987 (BRUNDTLAND, 1987; WCED, 1987), que definiu o termo como: “o desenvolvimento que atende às necessidades presentes sem comprometer a habilidade das gerações futuras em atenderem às suas próprias necessidades” (SANTOS *et al.*, 2016). Para Frankic & Hershner (2003), o desenvolvimento sustentável é definido como “a gestão e conservação da base de recursos naturais e a orientação de mudanças tecnológicas e institucionais, de modo a assegurar a obtenção e satisfação continuada das necessidades humanas para as gerações presentes e futuras”. Já Valenti (2008), mais recentemente, definiu o conceito de desenvolvimento sustentável como “o gerenciamento dos recursos naturais, financeiros, tecnológicos e institucionais de modo a garantir a contínua satisfação das necessidades humanas para as gerações presentes e futuras”.

Embora as definições de sustentabilidade sejam consideradas frequentemente imprecisas ou incoerentes em suas conceituações (FRANKIC & HERSHNER, 2003), todas, no entanto, levam em consideração três pilares ou dimensões de alcance (*triple bottom line*), as quais são definidas pela ótica da integração do equilíbrio ecológico, viabilidade econômica e equidade social, entrelaçados e sustentados somente pela condição de coexistência harmônica entre meio ambiente, economia e sociedade (CAFFEY *et al.*, 2000; NORMAN & MacDONALD, 2004; BELLEN 2008; VALENTI, 2008; VEIGA, 2010; GRIGGS *et al.*, 2013; KRAUSE *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2018; SVENSSON *et al.*, 2018; BOYD *et al.*, 2020; LOVISCEK, 2021; PARTELOW *et al.*, 2023).

Frankic & Hershner (2003) definem que a sustentabilidade de qualquer empresa ou tecnologia deve considerar pelo menos os seguintes aspectos: *a*) a continuidade da oferta e a qualidade dos insumos; *b*) os custos sociais, ambientais e econômicos de fornecer os insumos; *c*) a continuidade a longo prazo da produção; *d*) viabilidade financeira; *e*) o impacto social e equidade; *f*) o impacto ambiental e *g*) a eficiência de conversão de recursos em produto útil.

Sob estes critérios, a adoção da sustentabilidade demanda muitos desafios, como a manutenção dos recursos ambientais, produção e consumo equilibrado e a promoção do desenvolvimento humano (HØGEVOLD & SVENSSON, 2012; GRIGGS *et al.*, 2013; KRAUSE *et al.*, 2015; MONTABON *et al.*, 2016; FIORELLA *et al.*, 2021). O caminho a ser percorrido é em direção ao desenvolvimento que integre os interesses sociais, econômicos e as possibilidades e limites que a natureza define (GRIGGS *et al.*, 2013; KRAUSE *et al.*, 2015).

Desta forma, o desenvolvimento sustentável não deve ser encarado como algo perfeito, acabado e completo, mas como um objetivo a ser sempre buscado. Como consequência, as vantagens obtidas da transição para a sustentabilidade promovem ganhos em competitividade para a empresa, como a capacidade de melhoria da eficiência produtiva com redução no consumo de recursos (água, insumos, energia, etc.) e a possibilidade de promoção da melhoria da sua reputação como processo estratégico de fortalecimento perante a sociedade (FRANKIC & HERSHNER, 2003; LINNENLUECKE & GRIFFITHS, 2010; BUSH *et al.*, 2013; SILVA, 2014; BERGLEITER & MEISCH, 2015; MONTABON *et al.*, 2016; SVENSSON *et al.*, 2016; CARLUCCI *et al.*, 2017; NADARAJAH & FLAATEN, 2017; VINCE & HAWARD, 2017; BHARI & VISVANATHAN, 2018; AHMED & THOMPSON, 2019; ARIADI *et al.*, 2019; BANOVIC *et al.*, 2019; OSCH *et al.*, 2019; YI, 2019; SAPIENZA & PANDOLFI, 2019; AMUNDSEN & OSMUNDSEN, 2020; BOYD *et al.*, 2020; BOTTEMA *et al.*, 2021; PARTELOW *et al.*, 2023).

Para Rabelo & Lima (2007), a problemática ambiental demanda uma visão sistêmica quando trata das inter-relações ecológica, econômica e sociais, visto que os problemas relativos à interação do homem com a natureza são densos, complexos e altamente correlacionados. Não existe a possibilidade de se medir a sustentabilidade de uma determinada escala considerando apenas um aspecto (KEMERICH *et al.*, 2014; VALENTI *et al.*, 2018), sendo que para serem compreendidos mais aproximadamente a sua totalidade, estes precisam ser observados numa ótica mais ampla, de maneira simultânea e holística (VALENTI, 2008; ASHBY *et al.*, 2012; WAAS *et al.*, 2014; BRUGÈRE *et al.*, 2019; SOUSA & ABDALA, 2020; LOVISCEK, 2021).

2.2. OS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE

Os estudos relacionados ao desenvolvimento sustentável enfrentam dificuldades quanto à identificação de métodos científicos adequados de investigação e validação, a julgar pela grande quantidade de variáveis que ainda não puderam ser reveladas e/ou mensuradas (VEIGA, 2010; KIMPARA *et al.*, 2012; KEMERICH *et al.*, 2014; WAAS *et al.*, 2014).

Ao se considerar aspectos tão diversos, cria-se uma série de divergências conceituais e metodológicas quanto a sua mensuração e avaliação, tornando distintos os instrumentos propostos, bem como diferentes os níveis de complexidade numérica adotados (RABELO & LIMA, 2007; BELLEN, 2008; VALENTI, 2008; SAMUEL-FITWI *et al.* 2012), o que compromete as comparações objetivas de aplicabilidade entre os métodos, visto que o tipo e quantidade de dados exigidos diferem de um modelo para outro (BELLEN, 2004a; 2008; KEMERICH *et al.*, 2014).

Apesar disto, já existem diversas ferramentas de mensuração da sustentabilidade, amplamente utilizadas tanto nacionalmente, como internacionalmente (BELLEN, 2004a, 2008; KIMPARA *et al.*, 2010; 2012; SAMUEL-FITWI *et al.* 2012; KEMERICH *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2016; AMUNDSEN & OSMUNDSEN, 2018; VALENTI *et al.*, 2018; MIKKELSEN *et al.*, 2021), sendo destacados como principais métodos: a Pegada Ecológica (*Ecological Footprint*), o Painel de Sustentabilidade (*Dashboard of Sustainability*), o Barômetro de Sustentabilidade (*Barometer of Sustainability*), a Análise Emergética (*Emergetic Analysis*), a Análise de Resiliência (*Resilience Analysis*), a Análise de Ciclo de Vida (*Life Cycle Analysis*) e o Conjunto de Indicadores (*Set of Indicators*) (PRESCOTT-ALLEN, 1997; BELLEN, 2004a; RABELO & LIMA, 2007; BELLEN, 2008; CALLADO & FENSTERSEIFER, 2009; VEIGA, 2010; KIMPARA *et al.*, 2012; SAMUEL-FITWI *et al.* 2012; HENIKSSON *et al.*, 2013; KEMERICH *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2016).

O método de pegada ecológica mede mais especificamente o uso da natureza pela comunidade humana através do levantamento da área de um espaço ecológico necessária para a sobrevivência de uma determinada população ou sistema (BELLEN, 2004a; 2008), sendo mais indicado para a quantificação do consumo de recursos ambientais necessários (limite) para o fornecimento de bens e serviços a uma determinada população, bem como medir a absorção dos resíduos decorrentes desse processo.

Como vantagem, a pegada ecológica tem a capacidade de avaliar espacialmente o consumo de recursos e quantificar o alcance desse consumo em índices de avaliação por área ou *per capita*. Este método, porém, possui como desvantagem a limitação de estar restrita ao aspecto ecológico na dimensão territorial, não levando em consideração os fatores econômicos e sociais envolvidos, bem como a escala de tempo que não pode ser inserida (BELLEN, 2004a; VEIGA, 2010; KEMERICH *et al.*, 2014).

No método de painel de sustentabilidade realiza-se a avaliação do índice de sustentabilidade através da média de vários indicadores com pesos iguais, agrupados em quatro categorias de performance ou “mostradores”: econômica, social, natureza e institucional, com seus respectivos indicadores agrupados em cada dimensão. Conceitualmente, é um índice agregado com vários indicadores para cada categoria, que a partir do cálculo individual obtém-se o índice final através da média dos mostradores para se chegar a um Índice Global de Sustentabilidade (BELLEN, 2004a; VALENTI, 2008; 2013; VALENTI *et al.*, 2018).

O painel de sustentabilidade tem como vantagem a capacidade de se utilizar de meios visuais de apresentação para mostrar as dimensões primárias de sustentabilidade, o qual fornece ainda informações quantitativas e qualitativas sobre o progresso em direção a sustentabilidade. Como desvantagem, este é um método mais refinado, que depende da utilização de uma ampliada base de dados para se tornar um modelo interativo de avaliação (BELLEN, 2008).

Através do método de barômetro de sustentabilidade são avaliados os índices de bem-estar social em relação ao uso dos recursos ambientais através de uma escala de performances, permitindo uma visão geral do estado da sociedade e do meio ambiente o qual pretende-se avaliar (BELLEN, 2008). A escolha dos indicadores é realizada de forma hierarquizada, através de definição do sistema a ser avaliado e a meta estabelecida, conforme critério de avaliação mensuráveis e respectivos níveis de performance (BELLEN, 2004a).

Este método, no entanto, possui a desvantagem de utilizar somente dois subsistemas de indicadores (sociedade e ecossistema), calculados sobre índices de bem-estar social – em função da água, terra, ar, biodiversidade e utilização dos recursos; e ecosfera – em função da saúde, educação, desemprego, pobreza, rendimentos, crime, bem como negócios e atividades

humanas, dentre os quais possuem cinco dimensões derivadas com questões de avaliação para cada um, não englobando, porém, o fator econômico nas análises (SANTOS *et al.*, 2016; BELLEN, 2004a; 2008).

A análise emergética considera o fluxo de energia em análise de sistemas produtores e consumidores de recursos ambientais através da avaliação da entrada e saída de energia em sistemas ecológicos. Este método pondera a transformação de trabalho em equivalente de energia solar, ou seja, quantifica a energia obtida através da conversão de todos os recursos consumidos como se a única entrada (*input*) fosse a radiação solar (ODUM, 1986; SCIENCEMAN, 1987; ODUM, 1995; BROWN & ULGIATI, 2004; KIMPARA *et al.*, 2012).

Esta metodologia é muito eficiente em análises econômicas, por considerar custos de recursos humanos e o lucro para composição do valor do produto fabricado. Além disso, ela contabiliza os serviços da natureza utilizados com a conversão dos recursos, a absorção de impactos ambientais no percurso, bem como fatores de exclusão social produzidos no processo. No entanto, podem ser destacadas limitações, como a pouca ênfase na quantificação de índices e destaque sobre benefícios econômicos (KIMPARA *et al.*, 2012).

A análise de resiliência é um método que tem a capacidade de avaliar o grau de alterações ou mudanças suportadas por determinado sistema sem a produção de modificação de suas características, funções ou estruturas. Este método pode ser utilizado em previsões ou estimativas de capacidade de adaptação a mudanças de determinado sistema de produção ou atividade e sua expectativa de sobrevivência, permanência ou estabilidade ao longo do tempo (FOLKE *et al.*, 2002; 2003; 2004; KIMPARA *et al.*, 2010; 2012).

Seu problema como método de análise de sustentabilidade é percebido pela falta de ferramentas quantitativas de avaliação, tornando dificultosa a sua mensuração de forma direta. Outro fator é a grande ênfase em componentes ambientais e sociais de avaliação, negligenciando fatores econômicos como componentes integrados (FOLKE *et al.*, 2002).

O uso da análise de ciclo de vida compõe métodos de avaliação de impactos associados a elaboração de um produto ou serviço, quantificando simultaneamente a utilização de recursos ambientais para sua manufatura e a produção de passivos através da compilação de entradas e saídas (*inputs e outputs*), calculando os potenciais impactos gerados (KIMPARA *et al.*, 2012).

Sua vantagem principal é a possibilidade de comparar e avaliar, de forma sistemática, os impactos gerados e identificar alternativas para melhorias na eficiência produtiva e redução de desperdícios pelo consumo inadequado de recursos (KIMPARA *et al.*, 2010; 2012). Desta forma, este método acaba se convertendo em uma excelente ferramenta de ponderação para decisões de compra do consumidor, informando – através de um critério de rotulagem

ambiental (ABNT, 2002, 2004, 2013, 2015) – sobre os possíveis impactos produzidos pela fabricação de um produto (ABNT, 2009). No entanto, este método apresenta limitações, como a incapacidade de considerar diferenças temporais e geográficas relevantes, além de ignorar as consequências dos impactos sobre fatores econômicos e sociais do sistema analisado, dando ênfase no aspecto ambiental tão somente (KIMPARA *et al.*, 2012).

Já o conjunto de indicadores de sustentabilidade, são frequentemente associados a quantificação e avaliação do uso eficiente dos recursos (*inputs*) através de análises de performance de sustentabilidade em escalar ou índices de desempenho. Procedimentos de avaliações relativas podem ser utilizados para se estabelecer comparações entre diferentes sistemas pelos níveis de significância dos impactos (ponderações), considerando as suas características específicas (tipo de atividade) e abrangência geográfica (local, setorial, regional, nacional) (KIMPARA *et al.*, 2010; 2012).

Os indicadores são comumente classificados dentro das dimensões: ambiental, econômica e social (VALENTI, 2008; SANTOS *et al.*, 2016; VALENTI *et al.*, 2018), sendo o índice de sustentabilidade obtidos pela média aritmética entre esses subíndices das dimensões. Este método se torna um instrumento vantajoso pela possibilidade de serem utilizados os subíndices de maneira individual, restritos a tópicos sobre temas localizados, ou ainda combinados em índices gerais por meio de escores de análises compostas dos resultados individuais agregados (KIMPARA *et al.*, 2012; VALENTI *et al.*, 2011).

Como desvantagem deste método, está a incapacidade de se obter resultados e interpretações que não estejam em um estado dinâmico temporal e geográfico específico (KIMPARA *et al.*, 2012). Existe ainda a impossibilidade da análise de resultados nos contextos histórico e político aplicados aos agentes analisados (fazendas, piscicultores, funcionários, comunidades, etc.).

Diversos autores expõe os benefícios e prejuízos metodológicos na seleção e uso destas técnicas de avaliação da sustentabilidade sob diferentes perspectivas, ponderando a sua usabilidade de forma comparativa, podendo a escolha ser feita pela adequação da proposta e aplicabilidade à linha de investigação pretendida (BELLEN, 2004b; 2008; KIMPARA *et al.*, 2010; 2012; SAMUEL-FITWI *et al.* 2012; SANTOS *et al.*, 2016; VALENTI *et al.*, 2018).

De acordo com Bellen (2008), não existe melhor ou pior método de avaliação de sustentabilidade, no qual observa-se vantagens e desvantagens na aplicação de cada sistema de avaliação, ficando a seleção da ferramenta relacionada aos critérios de fatores pertinentes ao objetivo e propósito do estudo, à região estudada, ao âmbito organizacional da empresa, entre outros fatores (CALLADO & FENSTERSEIFER, 2009).

2.3. OS INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE PARA A AQUICULTURA

Durante muito tempo tem-se observado uma maior preocupação com a expansão da atividade aquícola, que está atrelada à sua grande capacidade de produzir impactos ambientais (PULLIN *et al.*, 2007; EDWARDS, 2015; BHARI & VISVANATHAN, 2018; SILVA *et al.*, 2018; FIORELLA *et al.*, 2021). Como resultado, as externalidades associadas à produção se tornaram cada vez mais evidentes, fazendo com que, mais recentemente, todo o setor fosse modificado para se tornar mais eficiente e competitivo, utilizando o comprometimento com o desenvolvimento sustentável para promoção de sua imagem e obtenção de vantagens nas relações de consumo, através da divulgação dos benefícios ambientais, econômicos e sociais gerados pelas boas práticas organizacionais realizadas (BOYD *et al.*, 2008; CHANG, 2012; BUSH *et al.*, 2013; BERGLEITER & MEISCH, 2015; SANTOS *et al.*, 2016; CARLUCCI *et al.*, 2017; NADARAJAH & FLAATEN, 2017; VINCE & HAWARD, 2017; BHARI & VISVANATHAN, 2018; VALENTI *et al.*, 2018; AHMED & THOMPSON, 2019; ARIADI *et al.*, 2019; BANOVIC *et al.*, 2019; OSCH *et al.*, 2019; YI, 2019; AMUNDSEN & OSMUNDSEN, 2020; BOYD *et al.*, 2020; BOTTEMA *et al.*, 2021; XUAN, 2021).

A grande maioria das discussões sobre aquicultura e meio ambiente envolve temas relativos à identificação de impactos e a tentativa de definir o conceito de “aquicultura sustentável” (ENGLE, 2019). No entanto, de acordo com Boyd *et al.* (2007), a questão não deve ser como a sustentabilidade é definida, mas sim como ela pode ser medida.

Organizações financeiras, atores do setor e organismos governamentais têm se empenhado cada vez mais no desenvolvimento e uso de mecanismos de mensuração, avaliação e certificação da sustentabilidade (BUSH *et al.*, 2013; BERGLEITER & MEISCH, 2015; CARLUCCI *et al.*, 2017; NADARAJAH & FLAATEN, 2017; VINCE & HAWARD, 2017; BHARI & VISVANATHAN, 2018; AZHAR *et al.*, 2019; ENGLE, 2019; AMUNDSEN & OSMUNDSEN, 2020; BOYD *et al.*, 2020; NOBILE *et al.*, 2020; BOTTEMA *et al.*, 2021). Entre tais tentativas, ferramentas para reduzir a complexidade da descrição de melhores sistemas produtivos têm sido aplicados em estudos ambientais (VALENTI, 2008; KIMPARA *et al.*, 2012; FROEHLICH *et al.*, 2017; VALENTI *et al.*, 2018; BOYD *et al.*, 2020).

Neste sentido, indicadores e índices de sustentabilidade são recursos únicos que expressam vários fenômenos complexos e detectam – entre informações gerais a específicas – mudanças nas condições ambientais, sendo, portanto, uma ferramenta muito objetiva para avaliar as variações em características dos sistemas e fornecer informações diretas sobre sua sustentabilidade ambiental (PULLIN *et al.*, 2007; DAHL, 2012; VALENTI *et al.*, 2018).

Os indicadores quando colocados como instrumentos numéricos se tornam passíveis de serem mensurados qualitativa e quantitativamente (SICHE *et al.*, 2007; WAAS *et al.*, 2014). A transformação de uma qualidade (o grau de sustentabilidade do desenvolvimento) em uma quantidade (expressa pelo índice geral de sustentabilidade) é fruto da necessidade que a sociedade tem de trabalhar com ferramentas mais eficientes que orientem o processo decisório (MORSE *et al.*, 2001; SHIELDS *et al.*, 2002; McCOOL & STANKEY, 2004; NEUMAYER, 2004; BELLEN, 2008; VEIGA, 2010; DAHL, 2012; WAAS *et al.*, 2014).

Para Bellen (2008), o principal objetivo do uso de indicadores de sustentabilidade é o de reunir, quantificar e qualificar informações de atividades produtivas de maneira que sua significância fique mais evidente. Assim, os indicadores simplificam as informações sobre fenômenos complexos, o que aprimora o processo de comunicação e gestão, os quais podem servir para informar os agentes de decisão, orientar o desenvolvimento e monitoramento de políticas estratégicas (SHIELDS *et al.*, 2002; BELLE, 2004b; McCOOL & STANKEY, 2004; VEIGA, 2010; KEMERICH *et al.*, 2014).

De acordo com Rabelo & Lima (2007), não existe indicador de sustentabilidade definitivo, sendo estes dinâmicos, variando de acordo com a natureza do objeto de estudo definido. Para os autores, a clareza do que se quer estudar é decisiva para a definição dos indicadores que melhor se aproxima à realidade do que se pretende avaliar, cabendo ao pesquisador realizar as adequações e ajustes necessários à sua análise conforme a necessidade do projeto pretendido (McCOOL & STANKEY, 2004; BELLEN, 2008).

Entretanto, Caffey *et al.* (2000) explicam que indicadores quantitativos se mostram de todo modo melhores, pois fornece informações ao processo de uma forma mais concreta do que a retórica qualitativa. Os autores ainda esclarecem que como os indicadores produzem informações simplificadas e concisas, eles podem ser mais adequados para o estabelecimento de um consenso quanto à concordância de seus resultados.

A utilização de indicadores para se avaliar sistemas complexos deve levar em consideração os objetivos essenciais e efetivos pelos quais este foi concebido (MORSE *et al.*, 2001; SICHE *et al.*, 2007; KEMERICH *et al.*, 2014). Valenti *et al.* (2011) complementam este conceito, ao definirem que a mensurabilidade dos indicadores deve considerar ainda existência de dados adequados disponíveis ou métodos utilizados para se medir e avaliar o indicador.

Nesta perspectiva, Rabelo & Lima (2007) observam que a escolha dos indicadores de sustentabilidade para estudos ambientais deve ser feita a partir de certos critérios de seleção, como: possibilidade de obtenção, confiabilidade das informações, capacidade de quantificação, baixa complexidade e reconhecimento científico, de forma que se aproxime ao máximo da

realidade local. De acordo com FAO (2011), os atributos que merecem destaque na seleção de indicadores são: *a)* a disponibilidade de dados: o qual deve ponderar se o indicador pode ser comparado/monitorado com alguns pontos de referência prontamente disponíveis; *b)* a confiabilidade dos dados: o qual deve avaliar se o indicador possui uma sólida base científica e metodologia; *c)* a relevância dos dados para critérios e princípios: o qual deve considerar se o indicador é relevante para a meta de critérios endossados e princípios e *d)* a compreensibilidade dos dados: o qual deve analisar se o indicador é claro e percebido por todas as partes interessadas da mesma maneira e facilmente comunicado.

Volpe *et al.* (2013) orientam que a fim de se determinar a melhor forma de medir o desempenho real, a utilização dos indicadores deve estar embasada em critérios específicos para garantir que eles sejam: *a)* relevantes e meçam impactos diretos; *b)* orientados para o acompanhamento do desempenho real no ambiente; *c)* transparentes e claros quanto aos dados e fórmulas e *d)* utilizem dados da mais alta qualidade possível. Já Ferraz (2003) especifica que indicadores devem ser: *a)* aplicáveis em um grande número de sistemas ecológicos, sociais e econômicos; *b)* mensuráveis e de fácil medição; *c)* de fácil obtenção e baixo custo; *d)* concebidos de tal forma que a população local possa participar de suas medições; *e)* sensíveis às mudanças do sistema e indicar tendências; *f)* representar os padrões ecológicos, sociais e econômicos de sustentabilidade e *g)* permitir o cruzamento com outros indicadores.

Assim como em outras áreas, a sustentabilidade do setor aquícola e o impacto de todas as medidas de gestão tomadas para sua administração podem ser percebidos pela análise de tendências dos indicadores selecionados (FAO, 2011). Neste sentido, a escolha dos indicadores reflete o próprio conceito de sustentabilidade dos usuários e dos próprios especialistas que desenvolvem as ferramentas (BELLEN, 2004a; 2004b; 2008).

Muitos autores vêm se dedicando em desenvolver propostas para se avaliar a sustentabilidade na atividade (CAFFEY *et al.*, 2000; BOYD *et al.*, 2007; PULLIN *et al.*, 2007; VALENTI, 2008; HOFHERR *et al.*, 2012; BUSH *et al.*, 2013; AMUNDSEN & OSMUNDSEN, 2018; VALENTI *et al.*, 2018; BOYD *et al.*, 2020). Entre essas propostas, estão o emprego de técnica de identificação de consenso para se escolher indicadores de sustentabilidade da aquicultura através da coleta de forma sistemática da opinião de especialistas e envolvidos (pesquisadores, empresários, produtores, setor público, etc.) (CAFFEY *et al.*, 2000; RABELO & LIMA, 2007; LAZARD *et al.*, 2008; 2010; 2011; BUSH *et al.*, 2013; VOLPE *et al.*, 2013; LAZARD *et al.*, 2014; PATRICK & KAGIRI, 2016; GHOLIFAR *et al.*, 2017; AMUNDSEN & OSMUNDSEN, 2018; VALENTI *et al.*, 2018).

Caffey *et al.* (2000), por exemplo, constataram por este método a predominância na percepção quanto aos conceitos de indicadores ambientais entre as dimensões ambiental, econômica e social. No tocante ao escopo ambiental, conservação de recursos (terra, energia, água, etc.), controle de efluentes (nitrogênio, amônia, fósforo, etc.) e o uso de espécies (nativas ou não-nativas) são mencionadas como indispensáveis na avaliação de sustentabilidade; os indicadores econômicos focaram em desempenho econômico (lucro, retorno sobre o investimento, período de recuperação do capital, etc.), questões de *marketing* e risco na atividade; já os indicadores sociais refletiram à disponibilidade de emprego, taxa de remuneração, benefícios e segurança do trabalhador.

Em estudo sobre a construção de métodos para a avaliação do desenvolvimento sustentável da aquicultura, Lazard *et al.* (2008) também afirmam que grupos de representantes e tomadores de opinião são os responsáveis por desenvolver, selecionar e validar indicadores de sustentabilidade. Tais grupos, por meio de participação, auxiliam a construção desses indicadores através de princípios e critérios acordados sobre a sustentabilidade da atividade (BOTTEMA *et al.*, 2021).

Considerando a abordagem das dimensões de abrangência de forma distinta, Santos *et al.* (2016) identificaram, mais especificamente, que os indicadores de sustentabilidade devem abranger na perspectiva financeira, os impactos econômicos diretos gerados aos principais interessados (clientes, fornecedores, funcionários, investidores e governo); na perspectiva ambiental, os impactos ocasionados pela atividade ao ambiente, tangenciando sobre o uso de materiais, energia, água, emissão de resíduos etc.; já na perspectiva social, as práticas trabalhistas, direitos humanos, sociedade e responsabilidade sobre produtos e serviços, relacionando dados a respeito de emprego, relações com funcionários, saúde e segurança do trabalho, treinamento e educação corporativa, diversidade e oportunidade, estratégia e gestão, entre outros fatores.

Mais recentemente, Valenti *et al.* (2018) propuseram um portfólio de 56 indicadores de sustentabilidade, abrangendo as dimensões ambiental (22 indicadores), econômica (14 indicadores) e social (20 indicadores), envolvendo os grandes princípios da sustentabilidade que englobam as principais questões da aquicultura. Os autores enfatizam a vantagem sobre a característica quantitativa dos indicadores, o que tornaria fácil o entendimento e interpretação, bem como a viabilidade prática de obtenção, o que permitiria comparação em diferentes escalas de espaço e tempo amplos, gerando dados cientificamente sólidos.

De acordo com FAO (2011), o número de indicadores utilizados em cada dimensão é uma questão que precisa ser abordada no que diz respeito à praticidade e custo-efetividade da pesquisa pretendida. Segundo o autor, o elevado número de indicadores poderia representar uma restrição na sua construção e aplicação em escala local, daí a recomendação de se reduzir o número de indicadores ao mínimo.

Lazard *et al.* (2014) fundamentam que o processo de estabelecer a lista de verificação dos indicadores de sustentabilidade na aquicultura depende de uma abordagem hierárquica de “aninhamento” que possibilite vincular indicadores a critérios e princípios gerais de sustentabilidade. Estabelecer objetivos claros para cada um dos critérios é uma parte fundamental do desenvolvimento de indicadores e, em muitos casos, isso ajudará a identificar sua relevância e seu valor de referência associado (GRIEVE *et al.*, 2003).

3. A SUSTENTABILIDADE E A INTENSIFICAÇÃO DO TAMBAQUI

A aquicultura é uma atividade que desempenha importante papel econômico e social, com a geração de renda e emprego, tendo função estratégica na segurança alimentar ao suprir a demanda mundial de alimento outrora estagnada pela exploração de estoque pesqueiros (YAMAGUCHI *et al.*, 2008; BLANCHARD *et al.*, 2017; SIQUEIRA, 2018; FIORELLA *et al.*, 2021; JOLLY *et al.*, 2023).

No mundo a aquicultura vem se desenvolvendo de forma acelerada. Dados da FAO (2024) apontam um crescimento de 41% na produção aquícola nos últimos dez anos, com valor contabilizado em 94,4 milhões de toneladas em 2022 sobre as 66,6 milhões de toneladas na década anterior, o que equivale a 51% da produção mundial de pescado que está estimada em 185,4 milhões de toneladas.

Por suas particularidades, a aquicultura comercial brasileira apresenta perspectiva de crescimento devido às suas características ambientais, grande demanda por pescado no mercado consumidor interno, disponibilidade de mão-de-obra e baixo custo de matérias-primas para a fabricação competitiva de insumos produtivos (OSTRENSKY *et al.*, 2008; SIQUEIRA, 2018; NOBILE *et al.*, 2020; VALENTI *et al.*, 2021). Neste contexto, o Brasil figurou a 13^a colocação no *ranking* geral entre os grandes produtores de pescado mundial, com valor estimado em 738,0 mil toneladas produzidos em 2022 pelo setor aquícola.

Em nível local, o Amazonas se destaca entre as regiões brasileiras com maior potencial para a produção de pescado, devido às suas condições naturais de abundância de água e recursos faunísticos disponíveis (OLIVEIRA *et al.*, 2012; PANTOJA-LIMA *et al.*, 2015; HILSDORF *et al.*, 2021; MORAES *et al.*, 2021). Segundo dados produzidos pelo IBGE (2024) mais recentes, o estado apresenta produção estimada em 6,5 mil toneladas, estando em 5º lugar entre os maiores produtores do Brasil e 4º da região norte.

Apesar de seus benefícios econômicos e sociais, a atividade possui potencial de ocasionar danos ambientais pela alteração de qualidade de água, acúmulo de nutrientes e propagação de espécies não nativas no ambiente natural durante sua produção (BOYD, 2003; BOYD & QUEIROZ, 2004; BOYD, 2005; BOYD *et al.*, 2008; GRIGORAKIS & RIGOS, 2011; SILVA *et al.*, 2013; BHARI & VISVANATHAN, 2018; AHMED *et al.*, 2019; DAUDA *et al.*, 2019; BOYD *et al.*, 2020; NOBILE *et al.*, 2020). Tais condições são responsáveis por produzir crescente competição por recursos (conflitos de uso), o que vem implicando na incapacidade do setor em incorporar demandas políticas, econômicas, sociais, ambientais e legais no seu desenvolvimento (FRANKIC & HERSHNER, 2003).

Atualmente existe um consenso sobre a importância da sustentabilidade no setor aquícola e pesqueiro. Através da crescente preocupação com o meio ambiente, métodos para se avaliar a sustentabilidade tem sido cada vez mais adotados por organizações (VEIGA, 2010; VINCE & HAWARD, 2017; AMUNDSEN & OSMUNDSEN, 2018; ARIADI *et al.*, 2019; BANOVIC *et al.*, 2019; OSCH *et al.*, 2019; YI, 2019; AMUNDSEN & OSMUNDSEN, 2020; BOYD *et al.*, 2020; BOTTEMA *et al.*, 2021; XUAN, 2021), pelo entendimento da dependência dos ecossistemas nos quais a atividade está inserida (BOYD *et al.*, 2005; VEIGA, 2010; VALENTI *et al.*, 2018; BOYD *et al.*, 2020; NOBILE *et al.*, 2020; BOTTEMA *et al.*, 2021).

Segundo Lazard *et al.* (2014), assim como a temática ambiental de modo geral, as pesquisas sobre sustentabilidade do sistema de aquicultura são muito recentes, com grande potencial de crescimento e desenvolvimento, onde ainda faltam mecanismos para sua avaliação de forma adequada (VALENTI, 2008). Embora exista um número elevado de documentos e artigos científicos afirmando sobre a importância da sua sustentabilidade, raros são os trabalhos com enfoque científico sobre o tema.

Na visão de Valenti (2008), para se atingir o desenvolvimento sustentável da aquicultura não deve haver preocupação com o crescimento da atividade, mas sim com o modo como ela é praticada. Técnicas de manejo e sistemas de produção devem ser avaliados para se identificar fatores limitantes que oneram os custos de produção e produzem custos ambientais que fazem com que o aumento de produtividade não compense (HØGEVOLD & SVENSSON, 2012; GRIGGS *et al.*, 2013; GUBBINS *et al.*, 2013; HENRIKSSON *et al.*, 2018).

Para alcançar uma aquicultura sustentável, é essencial, portanto, medir a sustentabilidade dos sistemas usados, das técnicas de manejo e das novas tecnologias que vão sendo geradas e adotadas (ENGLE, 2019; BOYD *et al.*, 2020; VALENTI *et al.*, 2021; PRATIWIY *et al.*, 2022; LAKTUKA *et al.*, 2023). Nesse sentido, os indicadores de desempenho são fundamentais, sendo variáveis-chave, auxiliando na mensuração da relevância e importância da atividade de acordo com suas características (FRANKIC & HERSHNER, 2003; NEUMAYER, 2004; SICHE *et al.*, 2007; VEIGA, 2010; BOYD *et al.*, 2020).

A aquicultura no Brasil é caracterizada por sistemas convencionais de produção (CREPALDI *et al.*, 2006; OSTRENSKY & BOEGER, 2008; SILVA *et al.*, 2013; VALENTI *et al.*, 2021). Tais modelos tem como base a piscicultura em monocultivo de espécies de águas interiores, com aplicação de dietas comerciais e fertilização orgânica, realizada com eficiência reduzida, sem grande utilização de tecnologias de controle ou automações na produção (OSTRENSKY *et al.*, 2008; YAMAGUCHI *et al.*, 2008).

Já no Amazonas, predominam sistemas semi-intensivos de produção e uso de espécies regionais, com destaque para o tambaqui (*Colossoma macropomum*), que se apresenta como promissora devido à sua rusticidade, hábito alimentar, condição de crescimento e aceitação no mercado local (ARAÚJO-LIMA & GOMES, 2010; RODRIGUES, 2014; MORAIS & O'SULLIVAN, 2017; GOMES *et al.*, 2018; HILSDORF *et al.*, 2021). A atividade no estado é ainda caracterizada pelo uso de estruturas de viveiros escavados, em pequenas áreas alagadas, praticada com pouca aplicação de tecnologia no controle de custos e baixa eficiência no processo produtivo (OLIVEIRA *et al.*, 2012; PANTOJA-LIMA *et al.*, 2015a; 2015b; ALMEIDA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2019; LIMA *et al.*, 2020; MORAES *et al.*, 2021).

De acordo com Oliveira (2009) e Valenti *et al.* (2011), tais sistemas tradicionais, possuem foco no desempenho produtivo, onde as técnicas aplicadas se refletem em uso de métodos para redução de custos e aumento do retorno econômico através da produtividade e do lucro, bem como o controle no uso de insumos e recursos diretamente associados à produção, como o consumo de ração e água (BOYD, 2005; VALENTI *et al.*, 2011). Quanto à preocupação ambiental, estes se resguardam em avaliar fatores de eficiência produtiva (taxa de

sobrevivência, ganho de peso, etc.) dos organismos, atender às adequações a princípios legais (legislação) e diminuir impactos residuais com uso de Boas Práticas de Manejo (BPM's) no sistema produtivo (BOYD *et al.*, 2008; 2020).

Apesar destas restrições, a importância de se adotar práticas mais sustentáveis nos empreendimentos aquícolas vem sendo reconhecida (OLIVEIRA, 2009; BOYD *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2013; NADARAJAH & FLAATEN, 2017; SILVA *et al.*, 2018; SIQUEIRA, 2018; AHMED *et al.*, 2019; BOYD *et al.*, 2020; BOTTEMA *et al.*, 2021; FIORELLA *et al.*, 2021; VALENTI *et al.*, 2021); porém, para isso, é essencial avaliar a sustentabilidade de cada sistema. A intensificação do manejo, por exemplo, é um fator que pode aumentar a produtividade e otimizar a utilização de espaço (IZEL *et al.*, 2013; CHARLES *et al.*, 2014; COSTA *et al.*, 2016; BARONE *et al.*, 2017; ENGLE *et al.*, 2017; KUMAR & ANGLE, 2017; BOYD *et al.*, 2020; IZEL-SILVA *et al.*, 2020), no entanto, não existem parâmetros para se avaliar em quais condições os custos relacionados ao consumo de recurso na produção, bem como os passivos ambientais gerados tornam o investimento inviável (BOYD *et al.*, 2020).

Muitas vezes, a intensificação no manejo é usada nos sistemas semi-intensivos e intensivos sem uma análise dessas limitações, não sendo possível identificar realmente o que restringe a produção e, conseqüentemente, a eficiência do uso de recursos ambientais (CHARLES *et al.*, 2014; BOYD *et al.*, 2020; LAKTUKA *et al.*, 2023). É muito importante, portanto, identificar os tipos de sistemas com maior aptidão para se implementar a atividade em modelos de desenvolvimento sustentável, o que implica na construção de uma nova referência ambiental para a atividade (LAZARD *et al.*, 2010; BHARI & VISVANATHAN, 2018; VALENTI *et al.*, 2018; AHMED *et al.*, 2019; BOYD *et al.*, 2020).

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14.020: Rótulos e declarações ambientais - Princípios Gerais**. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR ISO 14.021: Rótulos e declarações ambientais - Autodeclarações ambientais (Rotulagem do tipo II)**. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR ISO 14.024: Rótulos e declarações ambientais - Rotulagem ambiental do tipo I - Princípios e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR ISO 14.025: Rótulos e declarações ambientais - Declarações ambientais de Tipo III - Princípios e procedimentos**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR ISO 14.040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2009.

ADHIKARI, S.; KESHAV, C. A.; BARLAYA, G.; RATHOD, R.; MANDAL, R. N.; IKMAIL, S.; SAHA, G. S.; DE, H. K.; SIVARAMAN, I.; MAHAPATRA, A. S.; SARKAR, S.; ROUTRAY, P.; PILLAI, B. R.; SUNDARAY, J. K. **Adaptation and mitigation strategies of climate change impact in freshwater aquaculture in some states of India**. *Journal of Fisheries Sciences.com*, 12: 016-021, 2018. DOI: 10.21767/1307-234X.1000142

AHMED, N. & THOMPSON, S. **The blue dimensions of aquaculture: A global synthesis**. *Science of The Total Environment*, 652: 851-861, 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.163

AHMED, N.; THOMPSON, S.; GLASER, M. **Global Aquaculture Productivity, Environmental Sustainability, and Climate Change Adaptability**. *Environmental Management*, 63: 159-172, 2019. DOI: 10.1007/s00267-018-1117-3

ALMEIDA, E. S. de; BARAI, A. A.; CRAVEIRO, J. M. da C.; OLIVEIRA, A. M. de. **Cadeia produtiva do tambaqui no estado do Amazonas**. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, 11(2): 10-18, 2018. DOI: 10.18817/repesca.v11i2.1666

AMUNDSEN, V. S. & OSMUNDSEN, T. C. **Sustainability indicators for salmon aquaculture**. *Data in Brief*, 20: 20-29, 2018. DOI: 10.1016/j.dib.2018.07.043

_____. **Becoming certified, becoming sustainable? Improvements from aquaculture certification schemes as experienced by those certified**. *Marine Policy*, 119: 104097, 2020. DOI: 10.1016/j.marpol.2020.104097

ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M. & GOMES, L. de C. **Tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. In: BALDISSEROTTO, B.; GOMES, L. C. (Eds.) *Espécies nativas para piscicultura no Brasil*. Santa Maria: UFSM, p.175-204, 2010.

ARIADI, P. S.; HARAHA, N.; AFONDHI, A. **Strategy to Improve the Implementation of Eco-Labeling Global Aquaculture Alliance-Best Aquaculture Practices (GAA-BAP) in Shrimp Processing Industry PT. XYZ Sidoarjo.** *Journal of Economic and Social of Fisheries and Marine*, 07(1): 1-15, 2019. DOI: 10.21776/ub.ecsofim.2019.007.01.01

AROYEHUN, A. R. & HENRI-UKOHA, A. **The impact of climate change on aquaculture and fisheries production in Nigeria.** *Discovery Agriculture*, 11: e8da3119, 2025. DOI: 10.54905/disssi.v11i23.e8da3119

ARSHAD, S.; ARSHAD, S.; AFZAL, S.; TASLEEM, F. **Environmental Impact and Sustainable Practices in Aquaculture: A Comprehensive Review.** *Haya Saudi Journal of Life Sciences*, 9(11): 447-454, 2024. DOI: 10.36348/sjls.2024.v09i11.005

ASHBY, A.; LEAT, M.; HUDSON-SMITH, M. **Making connections: A review of supply chain management and sustainability literature.** *Supply Chain Management*, 17(5): 497-516, 2012. DOI: 10.1108/13598541211258573

ASIEDU, B.; MALCOLM, D.; IDDRISU, S. **Assessing the economic impact of climate change in the small-scale aquaculture industry of Ghana, West Africa.** *AAS Open Research*, 1: 26, 2019. DOI: 10.12688/aasopenres.12911.2

AZHAR, B.; PRIDEAUX, M.; RAZI, N. **Sustainability Certification of Food.** In: FERRANTI, P.; BERRY, E. M.; ANDERSON, J. R. (Eds.) *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*. Elsevier, pp. 538-544, 2019. DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.22434-7

BANOVIC, M.; REINDERS, M.; CLARET, A.; GUERRERO, L.; KRYSTALLIS, A. **A cross-cultural perspective on impact of health and nutrition claims.** *Food Research International*, 123: 36-47, 2019. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.04.031

BARONE, R. S. C.; MORAES, J. M. M. de; ROSA, J. M. **Relatório Campo Futuro – Aquicultura: Custo de Produção do tambaqui (*Colossoma macropomum*) com e sem uso de aeração.** CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. *Relatório Técnico*. Manaus, AM: CNA, 2017, 6p.

BELL, J.; BATTY, M.; GANACHAUD, A.; GEHRKE, P.; HOBDA, A.; HOEGH-GULDBERG, O.; JOHNSON, J.; BORGNE, R. L.; LEHODEY, P.; LOUGH, J.; PICKERING, T.; PRATCHETT, M.; SHEAVES, M.; WAYCOTT, M. **Preliminary assessment of the effects of climate change on fisheries and aquaculture in the Pacific.** In: GILLET, R. (Ed.) *Fisheries in the Economies of the Pacific Island Countries and Territories*. Pacific Studies Series. Manila: Asian Development Bank, pp. 451-469, 2010.

BELL, J. D.; GANACHAUD, A.; GEHRKE, P. C.; GRIFFITHS, S. P.; HOBDAY, A. J.; HOEGH-GULDBERG, O.; JOHNSON, J. E.; BORGNE, R. L.; LEHODEY, P.; LOUGH, J. M.; MATEAR, R. J.; PICKERING, T. D.; PRATCHETT, M. S.; GUPTA, A. S.; SENINA, I.; WAYCOTT, M. **Mixed responses of tropical Pacific fisheries and aquaculture to climate change.** *Nature Climate Change*, 3, 591-599, 2013. DOI: 10.1038/nclimate1838

BELLEN, H. M. V. van. **Desenvolvimento sustentável: uma descrição das principais ferramentas de avaliação.** *Ambiente & Sociedade*, v. 7, n. 1, p. 67-88, 2004a. DOI: 10.1590/S1414-753X2004000100005

_____. **Indicadores de sustentabilidade – Um levantamento dos principais sistemas de avaliação.** *Cadernos EBAPE.BR*, 2(1): 1-14, 2004b. DOI: 0.1590/S1679-39512004000100002

_____. *Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa.* 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2008, 256p.

BEVERIDGE, M. C. M.; DABBADIE, L.; SOTO, D.; ROSS, L. G.; BUENO, P. B.; AGUILAR-MANJARREZ, J. **Climate Change and Aquaculture: Interactions With Fisheries and Agriculture.** In: BARANGE, M.; BAHRI, T.; BEVERIDGE, M. C. M.; COCHRANE, K. L.; FUNGE-SMITH, S.; POULAIN, F. (Eds.) *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture – Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options.* Rome: FAO, Fisheries and Aquacultures Technical Paper, 627, pp. 491-500, 2018.

BERGLEITER, S. & MEISCH, S. **Certification Standards for Aquaculture Products: Bringing Together the Values of Producers and Consumers in Globalised Organic Food Markets.** *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 28: 553-569, 2015. DOI: 10.1007/s10806-015-9531-5

BHARI, B. & VISVANATHAN, C. **Sustainable Aquaculture: Socio-Economic and Environmental Assessment.** In: HAI, F.; VISVANATHAN, C.; BOOPATHY, R. (Eds.) *Sustainable Aquaculture.* Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future. Springer Nature, pp. 63-93, 2018. DOI: 10.1007/978-3-319-73257-2_2

BLANCHARD, J. L.; WATSON, R. A.; FULTON, E. A.; COTTRELL, R. S.; NASH, K. L.; BRYNDUM-BUCHHOLZ, A.; BÜCHNER, M.; CAROZZA, D. A.; CHEUNG, W. W. L.; ELLIOTT, J.; DAVIDSON, L. N. K.; DULVYN, N. K.; DUNNE, J. P.; EDDY, T. D.; GALBRAITH, E.; LOTZE, H. K.; MAURY, O.; MÜLLER, C. **Linked sustainability challenges and trade-offs among fisheries, aquaculture and agriculture.** *Nature Ecology & Evolution*, 1(9): 1240-1249, 2017. DOI: 10.1038/s41559-017-0258-8

BOTTEMA, M.; BUSH, S. R.; OOSTERVEER, P. **Assuring aquaculture sustainability beyond the farm.** *Marine Policy*, 132: 104658, 2021. DOI: 10.1016/j.marpol.2021.104658

BOYD, C. E. **Guidelines for aquaculture effluent management at farm-level.** *Aquaculture*, 226(1-4): 101-112, 2003. DOI: 10.1016/S0044-8486(03)00471-X

BOYD, C. E. **Better Management Practices in International Aquaculture.** In: TUCKER, C. S.; HARGREAVES, J. A. (Eds.) *Environmental Best Management Practices for Aquaculture*. John Wiley & Sons, pp. 73-79, 2008. DOI: 10.1002/9780813818672.ch3

_____. **Water use in aquaculture.** *World Aquaculture*, 36(3): 12-15, 70, 2005.

BOYD, C. E.; D'ABRAMO, L. R.; GLENCROSS, B. D.; HUYBEN, D. C.; JUAREZ, L. M.; LOCKWOOD, G. S.; McNEVIN, A. A.; TACON, A. G. J.; TELETCHEA, F.; TOMASSO, J. R.; TUCKER, C. S.; VALENTI, W. C. **Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges.** *Journal of the World Aquaculture Society*, 51: 578-633, 2020. DOI: 10.1111/jwas.12714

BOYD, C. E.; LIM, C.; QUEIROZ, J.; SALIE, K.; WET, L.; McNEVIN, A. *Best Management Practices for Responsible Aquaculture*. Washington: USAID, 2008, 47p.

BOYD, C. & McNEVIN, A. *Aquaculture, resource use, and the environment*. Hoboken: John Wiley & Sons, 2014, 337p. DOI: 10.1002/9781118857915

BOYD, C. E.; McNEVIN, A.; CLAY, J.; JOHNSON, H. M. **Certification issues for some common aquaculture species.** *Reviews in Fisheries Science*, 13(4): 231-279, 2005. DOI: 10.1080/10641260500326867

BOYD, C. E. & QUEIROZ, J. F. **Manejo das condições do sedimento do fundo e da qualidade da água e dos efluentes de viveiros.** In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSO, D. M.; CASTAGNOLLI, N. (Org.) *Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva*. Jaboticabal: Associação Brasileira de Aquicultura e Biologia – AQUABIO, cap. 3, p. 25-43, 2004.

BOYD, C. E.; QUEIROZ, J. F.; McNEVIN, A. **Perspectives on the Responsible Aquaculture Movement.** *World Aquaculture*, 44(4): 14-21, 2013.

BOYD, C. E.; TUCKER, C.; McNEVIN, A.; BOSTICK, K.; CLAY, J. **Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture.** *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 15(4): 327-360, 2007. DOI: 10.1080/10641260701624177

BRANDER, K. M. **Global fish production and climate change.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50): 19709-19714, 2007. DOI: 10.1073/pnas.0702059104

BROWN, M. T. & ULGIATI, S. **Emergy analysis and environmental accounting.** *Encyclopedia of energy*, 2(1): 329-354, 2004. DOI: 10.1016/B0-12-176480-X/00242-4

BRUGÈRE, C.; AGUILAR-MANJARREZ, J.; BEVERIDGE, M. C. M.; SOTO, D. **The ecosystem approach to aquaculture 10 years on—critical review and consideration of its future role in blue growth.** *Reviews in Aquaculture*, 11(3): 493-514, 2019. DOI: 10.1111/raq.12242

BRUNDTLAND, G. H. **Our common future – Call for action.** *Environmental conservation*, 14(4): 291-294, 1987. DOI: 10.1017/S0376892900016805

BUSH, S. R.; BELTON, B.; HALL, D. VANDERGEEST, P.; MURRAY, F. B.; PONTE, S.; OOSTERVEER, P.; ISLAM, M. S.; MOL, A. P. J.; HATANAKA, M. KRUIJSSEN, F.; HA, T. T. T.; LITTLE, D. C.; KUSUMAWATI, R. **Certify Sustainable Aquaculture?** *Science*, 341(6150): 1067-1068, 2013. DOI: 10.1126/science.1237314

CAFFEY, R. H.; KAZMIERCZAK JR, R. F.; AVAULT, J. W. **Developing consensus indicators of sustainability for Southeastern United States aquaculture.** *Working Draft Bulletin*, n. 1, 2000, 43p. DOI: 10.2139/ssrn.242312

CALLADO, A. L. C. & FENSTERSEIFER, J. E. **Indicadores de sustentabilidade.** In: ALBUQUERQUE, J. de L. (Org.) *Gestão ambiental e responsabilidade social: conceitos, ferramentas e aplicações.* São Paulo: Atlas, p. 213-234, 2009.

CARLUCCI, D.; DEVITIIS, B. D.; NARDONE, G.; SANTERAMO, F. G. **Certification Labels Versus Convenience Formats: What Drives the Market in Aquaculture Products?** *Marine Resource Economics*, 32(3): 295-310, 2017. DOI: 10.1086/692091

CHANG, H.-H. **Does the use of eco-labels affect income distribution and income inequality of aquaculture producers in Taiwan?** *Ecological Economics*, 80: 101-108, 2012. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2012.05.011

CHARLES, H.; GODFRAY, J.; GARNETT, T. **Food security and sustainable intensification.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1639): 20120273, 2014. DOI: 10.1098/rstb.2012.0273

COLLINS, C.; BRESNAN, E.; BROWN, L.; FALCONER, L.; GUILDER, J.; JONES, L.; KENNERLEY, A.; MALHAM, S.; MURRAY, A.; STANLEY, M. **Impacts of climate change on aquaculture.** *Marine Climate Change Impacts Partnership Science Review*, 482-520, 2020. DOI: 10.14465/2020.arc21.aqu

COSTA, J.; FREITAS, R.; GOMES, A. L.; BERNARDINO, G.; CARNEIRO, D.; MARTINS, M. I. **Effect of stocking density on economic performance for *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816), juvenile in earthen ponds.** *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(1): 165-170, 2016. DOI: 10.3856/vol44-issue1-fulltext-18

COSTA-PIERCE, B. A.; JENA, J. K.; KAUSHIK, S. J.; HASHIM, R.; YAKUPITIYAGE, A.; RANA, K.; HINSHAW, J.; LEMOS, D.; HERNÁNDEZ, A. J.; BUENO, P.; RUTAISIRE, J.; GREENHALGH, F. *Responsible use of resources for sustainable aquaculture.* Global Conference on Aquaculture 2010. Rome: FAO, 2010, 44p.

CREPALDI, D. V.; FARIA, P. M. C.; TEIXEIRA, E. de A.; RIBEIRO, L. P.; COSTA, A. A. P.; MELO, D. C. de; CINTRA, A. P. R.; PRADO, S. de A.; COSTA, F. A. A.; DRUMOND, M. L.; LOPES, V. E.; MORAES, V. E. de. **A situação da aqüicultura e da pesca no Brasil e no mundo.** *Revista Brasileira de Reprodução Animal*, v. 30, n. 3/4, p. 81-85, 2006.

DABBADIE, L.; AGUILAR-MANJARREZ, J. J.; BEVERIDGE, M. C. M.; BUENO, P. B.; ROSS, L. G.; SOTO, D. **Effects of Climate Change on Aquaculture: Drivers, Impacts and Policies.** In: BARANGE, M.; BAHRI, T.; BEVERIDGE, M. C. M.; COCHRANE, K. L.; FUNGE-SMITH, S.; POULAIN, F. (Eds.) *Impacts of climate change on fisheries and aquaculture – Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options.* Rome: FAO, Fisheries and Aquacultures Technical Paper, 627, pp. 449-463, 2018.

DAHL, A. L. **Achievements and gaps in indicators for sustainability.** *Ecological Indicators*, 17: 14-19, 2012. DOI: 10.1016/j.ecolind.2011.04.032

DOUBLEDAY, Z. A.; CLARKE, S. M.; LI, X.; PEC, G. T.; WARD, T. M.; BATTAGLENE, S.; FRUSHER, S.; GIBBS, P. J.; HOBDA, A. J.; HUTCHINSON, N.; JENNINGS, S. M.; STOKLOSA, R. **Assessing the risk of climate change to aquaculture: a case study from south-east Australia.** *Aquaculture Environment Interactions*, 3: 163-175, 2013. DOI: 10.3354/aei00058

EDWARDS, P. **Aquaculture environment interactions: Past, present and likely future trends.** *Aquaculture*, 447: 2-14, 2015. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.02.001

ELSHEIKH, W. **Effects of Climate Change on Aquaculture Production.** *Eurasian Journal of Food Science and Technology*, 5(2): 167-173, 2021.

ENGLE, C. R. **Bringing aquaculture sustainability down to earth.** *Journal of World Aquaculture Society*, 50(2): 246-248, 2019. DOI: 10.1111/jwas.2019.50.issue-210.1111/jwas.12609

ENGLE, C. R.; McNEVIN, A.; RACINE, P.; BOYD, C. E.; PAUNGKAEW, D.; VIRIYATUM, R.; TINH, H. Q.; MINH, H. N. **Economics of Sustainable Intensification of Aquaculture: Evidence from Shrimp Farms in Vietnam and Thailand.** *Journal of the World Aquaculture Society*, 48(2): 227-239, 2017. DOI: 10.1111/jwas.12423

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Indicators for the sustainable development of finfish Mediterranean aquaculture: highlights from the InDAM Project*. General Fisheries Commission for the Mediterranean. Studies and Reviews n. 90, Rome: FAO, 2011, 218p.

_____. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action*. Rome: FAO, 2024, 232p. DOI: 10.4060/cd0683en

FERRAZ, J. M. G. **As Dimensões da Sustentabilidade e seus Indicadores**. In: MARQUES, J. F.; SKORUPA, L. A.; FERRAZ, J. M. G. (Eds.) *Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p. 15-35, 2003.

FERREIRA, D. & GIL BARCELLOS, L. J. **Enfoque combinado entre as Boas Práticas de Manejo e as Medidas Mitigadoras de Estresse na piscicultura**. *Boletim do Instituto de Pesca*, 34(4): 601-611, 2008.

FIGLIOLA, K. J.; OKRONIPA, H.; BAKER, K.; HEILPERN, S. **Contemporary aquaculture: implications for human nutrition**. *Current Opinion in Biotechnology*, 70: 83-90, 2021. DOI: 10.1016/j.copbio.2020.11.014

FOLKE, C.; CARPENTER, S.; ELMQVIST, T.; GUNDERSON, L.; HOLLING, C. S.; WALKER, B. **Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformation**. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 31(5): 437-440, 2002. DOI: 10.1579/0044-7447-31.5.437

FOLKE, C.; CARPENTER, S.; WALKER, B.; SCHEFFER, M.; ELMQVIST, T.; GUNDERSON, L.; HOLLING, C. S. **Regime shifts, resilience and biodiversity in ecosystem management**. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35: 557-81, 2004. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711

FOLKE, C.; COLDING, J.; BERKES, F. **Building resilience and adaptive capacity in social-ecological systems**. In: BERKES, F.; COLDING, J. & FOLKE, C. (Eds.) *Navigating social-ecological systems*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 352-473, 2003.

FRANKIC, A. & HERSHNER, C. **Sustainable aquaculture: developing the promise of aquaculture**. *Aquaculture International*, 11: 517-530, 2003. DOI: 10.1023/B:AQUI.0000013264.38692.91

FREEMAN, O. E. **Impact of climate change on aquaculture and fisheries in Nigeria: A review**. *International Journal of Multidisciplinary Research and Development*, 4(1): 53-59, 2017.

FROEHLICH, H. E.; GENTRY, R. R.; HALPERN, B. S. **Conservation aquaculture: Shifting the narrative and paradigm of aquaculture's role in resource management.** *Biological Conservation*, 215: 162-168, 2017. DOI: 10.1016/j.biocon.2017.09.012

GENTRY, R. R.; LESTER, S. E.; KAPPEL, C. V.; WHITE, C.; BELL, T. W.; STEVENS, J.; GAINES, S. D. **Offshore aquaculture: Spatial planning principles for sustainable development.** *Ecology and Evolution*, 7(2): 733-743, 2017. DOI: 10.1002/ece3.2637

GHOLIFAR, E.; ABBASI, E.; RAD, G. P.; SALEHI, H.; REZAEI, A. **Development and Validation of Sustainable Aquaculture Indicators: Case of Alborz Dam Basin, Mazandaran, Iran.** *International Journal of Agricultural Management and Development*, 7(2): 191-199, 2017. DOI: 10.22004/ag.econ.262639

GOMES, L. de C.; SIMÕES, L. N.; ARAÚJO-LIMA, C. A. R. M. **Tambaqui (*Colossoma macropomum*).** In: BALDISSEROTTO, B. & GOMES, L. de C. (Eds.) *Espécies Nativas para Piscicultura no Brasil*. 2^a ed. Santa Maria: UFSM, p. 165-204, 2018.

GRIEVE, C.; SPORRONG, N.; COFFEY, C.; MORETTI, S.; MARTINI, N. *Review and gap analysis of environmental indicators for fisheries and aquaculture.* A project of the European Nature Conservation and Fisheries Advisory Network. Institute for European Environmental Policy Report, London, 2003, 61p.

GRIGGS, D.; STAFFORD-SMITH, M.; GAFFNEY, O.; ROCKSTRÖM, J.; ÖHMAN, M. C.; SHYAMSUNDAR, P.; STEFFEN, W.; GLASER, G.; KANIE, N.; NOBLE, I. **Sustainable development goals for people and planet.** *Nature*, 495: 305-307, 2013. DOI: 10.1038/495305a

GRIGORAKIS, K. & RIGOS, G. **Aquaculture effects on environmental and public welfare – The case of Mediterranean mariculture.** *Chemosphere*, 85(6): 899-919, 2011. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.07.015

GUBBINS, M.; BRICKNELL, I.; SERVICE, M. **Impacts of climate change on aquaculture.** *Marine Climate Change Impacts Partnership: Science Review*, 318-327, 2013. DOI: 10.14465/2013.arc33.318-327

HANDISYDE, N.; TELFER, T. C.; ROSS, L. G. **Vulnerability of aquaculture-related livelihoods to changing climate at the global scale.** *Fish and Fisheries*, 18: 466-488, 2017. DOI: 10.1111/faf.12186

HENRIKSSON, P. J. G.; BANKS, L.; SURI, S.; PRATIWI, T. Y.; FATAN, N. A.; TROELL, M. **Indonesian aquaculture futures – identifying interventions for reducing environmental impacts.** *Environmental Research Letters*, 14(12): 124062, 2019. DOI: 10.1088/1748-9326/ab4b79

HENRIKSSON, P. J. G.; BELTON, B.; JAHAN, K. M.; RICO, A. **Measuring the potential for sustainable intensification of aquaculture in Bangladesh using life cycle assessment.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(12): 2958-2963, 2018. DOI: 10.1073/pnas.1716530115

HENRIKSSON, P. J. G.; PELLETIER, N. L.; TROELL, M.; TYEDMERS, P. H. **Life Cycle Assessments and Their Applications to Aquaculture Production Systems.** In: CHRISTOU, P.; SAVIN, R.; COSTA-PIERCE, B. A.; MISZTAL, I.; WHITELAW, C. B. A. (Eds.) *Sustainable Food Production*. New York: Springer, pp.1050-1066, 2013. DOI:10.1007/978-1-4614-5797-8_191

HILSDORF, A. W. S.; HALLERMAN, E.; VALLADÃO, G. M. R.; ZAMINHAN-HASSEMER, M.; HASHIMOTO, D. T.; DAIRIKI, J. K.; TAKAHASHI, L. S.; ALBERGARIA, F. C.; GOMES, M. E. de S.; VENTURIERI, R. L. L.; MOREIRA, R. G.; CYRINO, J. E. P. **The farming and husbandry of *Collossoma macropomum*: From Amazonian waters to sustainable production.** *Reviews in Aquaculture*, 00: 1-35, 2021. DOI: 10.1111/raq.12638

HOFHERR, J.; NATALE, F.; FIORE, G. **An Approach Towards European Aquaculture Performance Indicators.** Indicators for Sustainable Aquaculture in the European Union. Report EUR, 25557, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012, 259p. DOI: 10.2788/56181

HØGEVOLD, N. M. & SVENSSON, G. **A business sustainability model: A European case study.** *Journal of Business & Industrial Marketing*, 27(2), 142-151, 2012. DOI: 10.1108/08858621211197001

IZEL, A. C. U.; CRESCÊNCIO, R.; O'SULLIVAN, F. L. de A.; CHAGAS, E. C.; BOIJINK, C. L.; SILVA, J. I. **Produção intensiva de tambaqui em tanques escavados com aeração.** *Circular Técnica 39*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, 2013, 4p.

IZEL-SILVA, J.; ONO, E. A.; QUEIROZ, M. N. de; SANTOS, R. B. dos; AFFONSO, E. G. **Aeration strategy in the intensive culture of tambaqui, *Collossoma macropomum*, in the tropics.** *Aquaculture*, 529(3): 735644, 2020. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735644

JOLLY, C. M.; NYANDAT, B.; YANG, Z.; RIDLER, N.; MATIAS, F.; ZHANG, Z.; MUREKEZI, P.; MENEZES, A. **Dynamics of aquaculture governance.** *Journal of World Aquaculture Society*, 54(2): 427-481, 2023. DOI: 10.1111/jwas.12967

KHALID, A. **Climate Change's Impact on Aquaculture and Consequences for Sustainability.** *Acta Aquatica Turcica*, 18(3): 426-435, 2022. DOI: 10.22392/actaquatr.1095421

KEMERICH, P. D. da C.; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. **Indicadores de sustentabilidade ambiental: métodos e aplicações.** *Revista Monografias Ambientais*, v. 13, n. 5, p. 3723-3736, 2014. DOI: 10.5902/2236130814411

KIBRIA, G.; HAROON, Y. A. K.; DAYANTHI, N. **Climate change impacts on tropical and temperate fisheries, aquaculture, and seafood security and implications – a review.** *Livestock Research for Rural Development*, 29(1): 22, 2017.

KIMPARA, J. M.; ZADJBAND, A. D.; VALENTI, W. C. **Medindo a Sustentabilidade na Aquicultura.** *Boletim Ablimno*, 38(2): 1-13, 2010.

_____. **Métodos para Medir a Sustentabilidade na Aquicultura.** *Documentos 218.* Teresina: Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, 2012, 71p.

KRAUSE, G.; BRUGERE, C.; DIEDRICH, A.; EBELING, M. W.; FERSE, S. C. A.; MIKKELSEN, E.; AGÚNDEZ, J. A. P.; STEAD, S. M.; STYBEL, N.; TROELL, M. **A revolution without people? Closing the people–policy gap in aquaculture development.** *Aquaculture*, 447(11): 44-55, 2015. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.02.009

KUMAR, G. & ENGLE, C. R. **Economics of Intensively Aerated Catfish Ponds.** *Journal of the World Aquaculture Society*, 48(2): 320-332, 2017. DOI: 10.1111/jwas.12385

KUMAR, G.; HEGDE, S.; SENTEN, J. van; ENGLE, C.; BOLDT, N.; PARKER, M.; QUAGRAINIE, K.; POSADAS, B.; ASCHE, F.; DEY, M.; AARATTUTHODI, S.; ROY, L. A.; GRICE, R.; FONG, Q.; SCHWARZ, M. **Economic contribution of U.S. aquaculture farms.** *Journal of the World Aquaculture Society*, 55(6): e13091, 2024. DOI: 10.1111/jwas.13091

LAKTUKA, K.; KALNBALKITE, A.; SNIEGA, L.; LOGINS, K.; LAUKA, D. **Towards the Sustainable Intensification of Aquaculture: Exploring Possible Ways Forward.** *Sustainability*, 15: 16952, 2023. DOI: 10.3390/su152416952

LAM, V. W. Y.; ALLISON, E. H.; BELL, J. D.; BLYTHE, J.; CHEUNG, W. W. L.; FRÖLICHER, T. L.; GASALLA, M. A.; SUMAILA, U. R. **Climate change, tropical fisheries and prospects for sustainable development.** *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(9): 440-454, 2020. DOI: 10.1038/s43017-020-0071-9

LAZARD, J.; BARUTHIO, A.; MATHÉ, S.; REY-VALETTE, H.; CHIA, E.; CLEMENTS, O.; AUBIN, J.; MORISSENS, P.; MIKOLASEK, O.; LEGENDRE, M.; LEVANG, P.; BLANCHETON, J. P.; RENÉ, F. **Aquaculture system diversity and sustainable development: fish farms and their representation.** *Aquatic Living Resources*, 23(2): 187-198, 2010. DOI: 10.1051/alr/2010018

LAZARD, J.; REY-VALETTE, H.; AUBIN, J.; MATHÉ, S.; CHIA, E.; CARUSO, D.; MIKOLASEK, O.; BLANCHETON, J. P.; LEGENDRE, M.; BARUTHIO, A.; RENÉ, F.; LEVANG, P.; SLEMBROUCK, J.; MORISSENS, P.; CLEMENTS, O. **Evaluation of Aquaculture System Sustainability: A Methodology and Comparative Approaches**. In: ARAL, F. & DOĞU, Z. (Eds.) *Recent Advances in Fish Farms*. Intech, p. 1-24, 2011. DOI: 10.5772/26712

LAZARD, J.; REY-VALETTE, H.; AUBIN, J.; MATHÉ, S.; CHIA, E.; CARUSO, D.; MIKOLASEK, O.; BLANCHETON, J. P.; LEGENDRE, M.; RENÉ, F.; LEVANG, P.; SLEMBROUCK, J.; MORISSENS, P.; CLÉMENT, O. **Assessing aquaculture sustainability: a comparative methodology**. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 21(6): 503-511, 2014. DOI: 10.1080/13504509.2014.964350

LAZARD, J.; REY-VALETTE, H.; CLÉMENT, O.; AUBIN, J.; MATHÉ, S.; CHIA, E.; LEGENDRE, M.; CARUSO, D.; MIKOLASEK, O.; BLANCHETON, J. P.; SLEMBROUCK, J.; BARUTHIO, A.; RENÉ, F.; LEVANG, P.; MORRISSENS, P.; LAZARD, J. *Guide to the Co-Construction of Sustainable Development Indicators in Aquaculture*. Montpellier: EVAD, 2008, 146p.

LIM-CAMACHO, L.; HOBDDAY, A. J.; BUSTAMANTE, R. H.; FARMERY, A.; FLEMING, A.; FRUSHER, S.; GREEN, B. S.; NORMAN-LÓPEZ, A.; PECL, G. T.; PLAGANYI, É. E.; SCHROBBACK, P.; THEBAUD, O.; THOMAS, L.; van PUTTEN, I. **Facing the wave of change: stakeholder perspectives on climate adaptation for Australian seafood supply chains**. *Regional Environmental Change*, 15(4): 595-606, 2015. DOI: 10.1007/s10113-014-0670-4

LIMA, C. A. S.; MACHADO-BUSSONS, M. R. F.; OLIVEIRA, A. T.; ARIDE, P. H. R.; O'SULLIVAN, F. L. A.; PANTOJA-LIMA, J. **Socioeconomic and profitability analysis of tambaqui *Colossoma macropomum* fish farming in the state of Amazonas, Brazil**. *Aquaculture Economics & Management*, 24(4): 406-421, 2020. DOI: 10.1080/13657305.2020.1765895

LIMA, C. A. S.; MACHADO-BUSSONS, M. R. F. M.; PANTOJA-LIMA, J. **Classificação dos sistemas de produção e grau de impacto ambiental das pisciculturas no estado do Amazonas, Brasil**. *Revista Colombiana de Ciência Animal*, 11(1): 707-721, 2019. DOI: 10.24188/recia.v11.n1.2019.707

LINNENLUECKE, M. K. & GRIFFITHS, A. **Corporate sustainability and organizational culture**. *Journal of World Business*, 45(4): 357-366, 2010. DOI: 10.1016/j.jwb.2009.08.006

LOVISCEK, V. **Triple bottom line em direção a um quadro holístico para a sustentabilidade: uma revisão sistemática**. *Revista de Administração Contemporânea*, 25, e200017, 2021. DOI: 10.1590/1982-7849rac2021200017.en

MAULU, S.; HASIMUNA, O. J.; HAAMBIYA, L. H.; MONDE, C.; MUSUKA, C. G.; MAKORWA, T. H.; MUNGANGA, B. P.; PHIRI, K. J.; NSEKANABO, J. D. **Climate Change Effects on Aquaculture Production: Sustainability Implications, Mitigation, and Adaptations.** *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5: 609097, 2021. DOI: 10.3389/fsufs.2021.609097

McCOOL, S. & STANKEY, G. **Indicators of Sustainability: Challenges and Opportunities at the Interface of Science and Policy.** *Environmental Management*, 33: 294-305, 2004. DOI: 10.1007/s00267-003-0084-4

MIKKELSEN, E.; MYHRE, M. S.; WINTHER, U. **Making a Web-Portal with Aquaculture Sustainability Indicators for the General Public.** *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5: 644314, 2021. DOI: 10.3389/fsufs.2021.644314

MOHANTY, R. K.; AMBAST, S. K.; PANIGRAHI, P.; THAKUR, A. K.; MANDAL, K. G. **Enhancing water use efficiency in monoculture of *Litopenaeus vannamei*: Impacts on pond water quality, waste production, water footprint and production performance.** *Aquacultural Engineering*, 82: 46-55, 2018. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2018.06.004

MONTABON, F.; PAGELL, M.; WU, Z. **Making sustainability sustainable.** *Journal of Supply Chain Management*, 52(2): 11-27, 2016. DOI: 10.1111/jscm.12103

MORAES, G. R. P. de; RUFINO, J. P. F.; FREITAS, C. E. de C. **Perfil produtivo e impactos no desenvolvimento da atividade piscícola nas microrregiões do Estado do Amazonas.** *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 14, Suplemento 1, p. 1-12, 2021. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14Supl.1.e8177

MORAIS, I. da S. de & O'SULLIVAN, F. L. de A. **Biologia, habitat e cultivo do tambaqui *Colossoma macropomum* (CUVIER, 1816).** *Scientia Amazonia*, 6(1): 81-93, 2017.

MORSE, S.; McNAMARA, N.; ACHOLO, M.; OKWOLI, B. **Sustainability indicators: The problem of integration.** *Sustainable Development*, 9(1): 1-15, 2001. DOI: 10.1002/sd.148

NADARAJAH, S. & FLAATEN, O. **Global aquaculture growth and institutional quality.** *Marine Policy*, 84: 142-151, 2017. DOI: 10.1016/j.marpol.2017.07.018

NEUMAYER, E. **Indicators of sustainability.** In: TIETENBERG, T. H. & FOLMER, H. (Eds.) *The international yearbook of environmental and resource economics 2004/2005*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, p. 139-188, 2004.

NGOAN, L. D. **Effects of climate change in aquaculture: case study in Thua Thien Hue Province, Vietnam.** *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 10(1): 7551-7552, 2018. DOI: 10.26717/BJSTR.2018.10.001892

NOBILE, A. B.; CUNICO, A. M.; VITULE, J. R. S.; QUEIROZ, J.; VIDOTTO-MAGNONI, A. P.; GARCIA, D. A. Z.; ORSI, M. L.; LIMA, F. P.; ACOSTA, A. A.; SILVA, R. J. da; PRADO, F. D. do; PORTO-FORESTI, F.; BRANDÃO, H.; FORESTI, F.; OLIVEIRA, C.; RAMOS, I. P. **Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil.** *Aquaculture*, 12(3): 1495-1517, 2020. DOI: 10.1111/raq.12393

NORMAN, W. & MacDONALD, C. **Getting to the Bottom of “Triple Bottom Line.** *Business Ethics Quarterly*, 14(2): 243-262, 2004. DOI: 10.5840/beq200414211

ODUM, H. T. **Emergy in ecosystems.** In: POLUNIN, N. (Ed.) *Ecosystem Theory and Application.* New York: John Wiley & Sons, pp. 338-369, 1986.

_____. *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making.* New York: John Wiley & Sons, 1995, 384p.

OLIVEIRA, R. C. de. **O panorama da aquícultura no Brasil: a prática com foco na sustentabilidade.** *Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade*, v. 2, n.1, p. 71-89, 2009. DOI: 10.22280/revintervol2ed1.18

OLIVEIRA, R. F. & GALHARDO, L. **Sobre a aplicação do conceito de bem-estar a peixes teleósteos e implicações para a piscicultura.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(suppl): 77-86, 2007. DOI: 10.1590/S1516-35982007001000009

OLIVEIRA, A. M.; VAL, V. M. F. de A.; VAL, A. L. **Caracterização da atividade de piscicultura nas mesorregiões do estado do Amazonas, Amazônia brasileira.** *Revista Colombiana de Ciência Animal*, 4(1): 154-162, 2012.

ORCHARD, S. E.; STRINGER, L. C.; QUINN, C. H. **Impacts of aquaculture on social networks in the mangrove systems of northern Vietnam.** *Ocean & Coastal Management*, 114: 1-10, 2015. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2015.05.019

OSCH, S.; HYNES, S.; FREEMAN, S.; O’HIGGINS, T. **Estimating the Public’s Preferences for Sustainable Aquaculture: A Country Comparison.** *Sustainability*, 11: 569, 2019. DOI: 10.3390/su11030569

OSTRENSKY, A. & BOEGER, W. A. **Principais Problemas Enfrentados Atualmente pela Aquicultura Brasileira.** In: OSTRENSKY, A.; BORGETTHI, J. R. & SOTO, D. (Eds.) *Aquicultura no Brasil: o desafio é crescer.* Curitiba: SEAP, cap. 11, p. 169-199, 2008.

OSTRENSKY, A.; BOEGER, W. A.; CHAMMAS, M. A. **Potencial para o desenvolvimento da aquícultura no Brasil.** In: OSTRENSKY, A.; BORGETTHI, J. R. & SOTO, D. (Eds.) *Aquicultura no Brasil: o desafio é crescer.* Curitiba: SEAP, cap. 11, p. 196-222, 2008.

PANTOJA-LIMA, J.; SANTOS, S. M. dos; OLIVEIRA, A. T. de; ARAÚJO, R. L.; SANTOS-JÚNIOR, J. A. L. dos; BERNARDINO, G.; ALVES, R. R. dos S.; FILHO, A. F.; GOMES, A. L.; ARIDE, P. H. R. **Pesquisa e transferência de tecnologia aliadas para desenvolvimento da aquicultura no Estado do Amazonas.** In: TAVARES-DIAS, M. & MARIANO, W. S. (Org.) *Aquicultura no Brasil: Novas Perspectivas*. São Carlos: Pedro & João, vol. 2, p. 743-761, 2015a.

PANTOJA-LIMA, J.; SANTOS, S. M. dos; OLIVEIRA, A. T.; ARAUJO, R. L.; SILVA-JUNIOR, J. A. L.; ARIDE, P. H. R. **Pró-Rural Aquicultura: Relatos das principais ações de extensão tecnológica e um panorama do setor aquícola do estado do Amazonas, Brasil.** *Nexus-Revista de Extensão do IFAM*, v. 1, n. 1, p. 35-45, 2015.

PARTELOW, S.; ASIF, F.; BÉNÉ, C.; BUSH, S.; MANLOSA, A.; NAGEL, B.; SCHLÜTER, A.; CHADAG, V. M.; CHOUDHURY, A.; COLE, S. M.; COTTRELL, R. S.; GELCICH, S.; GENTRY, R.; GEPHART, J. A.; GLASER, M.; JOHNSON, T. R.; JONELL, M.; KRAUSE, G.; KUNZMANN, A.; KÜHNHOLD, H.; LITTLE, D. C.; MARSCHKE, M. J.; MIZUTA, D. D.; PARAMITA, A. O.; PIN, N.; SALAYO, N. D.; STENTIFORD, G. D.; STOLL, J.; TROELL, M.; TURCHINI, G. M. **Aquaculture governance: five engagement arenas for sustainability transformation.** *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 65: 101379, 2023. DOI: 10.1016/j.cosust.2023.101379

PATRICK, E. W. & KAGIRI, A. **An Evaluation of Factors Affecting Sustainability of Fish Farming Projects in Public Secondary Schools in Kiambu County.** *International Journal of Scientific and Research Publications*, 6(10): 488-507, 2016.

PRATIWY, F. M.; CAHYA, M. D.; ANDRIANI, Y. **Digitization of aquaculture: A review.** *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 10(1): 18-22, 2022. DOI: 10.22271/fish.2022.v10.i1a.2623

PRESCOTT-HALLEN, R. *Barometer of Sustainability: Measuring and communicating wellbeing and sustainable development*. Cambridge: Union Internationale pour la Conservation de la Nature et de ses Ressources, 1997, 32p.

PULLIN, R. S. V.; FROESE, R.; PAULY, D. **Indicators for the sustainability of aquaculture.** In: BERT, T. M. (Ed.). *Ecological and genetic implications of aquaculture activity*. New York: Springer, pp. 53-72, 2007. DOI: 10.1007/978-1-4020-6148-6_3

PUSPITAWATI, D.; SUSILO, E.; CAHYANDARI, D.; MAHARANI, D. P.; FADLI, M.; LUTFI, M.; M.; ANGGORO, S. A.; LIEMANTO, A. **The design of regulatory reform in aquaculture in Indonesia: opportunities and threats of the implementation of SDGs in fisheries governance.** *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation - International Journal of the Bioflux Society*, 15(3): 1215-1225, 2022.

PUSZKARSKI, J. & ŚNIADACH, O. **Instruments to implement sustainable aquaculture in the European Union.** *Marine Policy*, 144: 105215, 2022. DOI: 10.1016/j.marpol.2022.105215

QUEIROZ, J. F. de. **Boas Práticas de Manejo (BPM) para a Aquicultura em Viveiros Escavados e em Reservatórios.** *Circular Técnica 25.* Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, 2016, 8p.

RABELO, L. S. & LIMA, P. V. P. S. **Indicadores de sustentabilidade: a possibilidade da mensuração do desenvolvimento sustentável.** *REDE – Revista Eletrônica do Prodepa*, v. 1, n. 1, p. 55-76, 2007.

RESENDE, E. K. de. **Pesquisa em rede em aquicultura: bases tecnológicas para o desenvolvimento sustentável da aqüicultura no Brasil.** *Aquabrazil. Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(suppl): 52-57, 2009. DOI: 10.1590/S1516-35982009001300006

RODRIGUES, A. P. O. **Nutrição e alimentação do tambaqui (*Collossoma macropomum*).** *Boletim do Instituto de Pesca*, 40(1): 135-145, 2014.

SAMUEL-FITWI, B.; WUERTZ, S.; SCHROEDER, J. P.; SCHULZ, C. **Sustainability assessment tools to support aquaculture development.** *Journal of Cleaner Production*, 32: 183-192, 2012. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.03.037

SANTOS, G. de S. dos; SANTOS, A. A. P. dos; SEHNEM, S. **Como mensurar a sustentabilidade? – Um estudo das principais técnicas e indicadores.** *Organizações e Sustentabilidade*, v. 4, n. 1, p. 3-48, 2016. DOI: 10.5433/2318-9223.2016v4n1p3

SAPIENZA, R. & PANDOLFI, M. A. C. **Responsabilidade social e sustentabilidade como estratégias das empresas.** *Revista Interface Tecnológica*, v. 16, n. 1, p. 327-336, 2019.

SCIENCEMAN, D. M. **Energy and emergy.** In: PILLET, G. & MUROTA, T. (Eds.) *Environmental economics: The Analysis of a Major Interface.* Geneva: Leimgruber, pp. 257-276, 1987.

SHARMA, A.; KRISHNA, G.; MOHAPATRA, B. K. **Capacity building of stakeholders to integrate fisheries and aquaculture in emergency response and preparedness: a case study from India.** In: JOHNSON, J.; YOUNG, C. D.; BAHRI, T.; SOTO, D.; VIRAPAT, C. (Eds.) *Proceedings of FishAdapt: the Global Conference on Climate Change Adaptation for fisheries and Aquaculture, Bangkok, 8-10 August, 2016.* Rome: FAO, Fisheries and Aquaculture Proceedings, 61, pp. 159-161, 2019.

SHIELDS, D. J.; ŠOLAR, S. V.; MARTIN, W. E. **The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability.** *Ecological Indicators*, 2(1): 149-160, 2002. DOI: 10.1016/S1470-160X(02)00042-0

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. **Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países.** *Ambiente & Sociedade*, v. 10, n. 2, p. 137-148, 2007. DOI: 10.1590/S1414-753X2007000200009

SILVA, M. E. **A estratégia de responsabilidade social e a transição para sustentabilidade.** *Teoria e Prática em Administração*, 4(1): 56-77, 2014.

SILVA, W. L. de M.; FROZZI, J. C.; FONSECA, J. da S.; SOUZA, A. L. de; SALVADOR, J. de S. P.; RIBEIRO, P. N. T.; CAMPOS, M. C. C. **Sustentabilidade na Aquicultura: Dimensões Social, Econômica e Ambiental – Uma Revisão de Literatura.** *Revista EDUCAmazônia - Educação Sociedade e Meio Ambiente*, v. 20, n. 1, p. 87-108, 2018.

SILVA, T. D. C.; INOUE, L.; FIETZ, C. R. **Influência do clima, fenômenos e mudanças climáticas no manejo da piscicultura.** *Documentos 136*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS, 2016, 28p.

SILVA, M. S. G. M. e; LOSEKANN, M. E.; HISANO, H. **Aquicultura: manejo e aproveitamento de efluentes.** *Documentos 95*. São Paulo: Embrapa Meio Ambiente, São Paulo, SP, 2013, 39p.

SILVA, S. S. de & SOTO, D. **Climate change and aquaculture: potential impacts, adaptation and mitigation.** In: COCHRANE, K.; YOUNG, C. D.; SOTO, D.; BAHRI, T. (Eds.) *Climate Change Implications for Fisheries and Aquaculture: Overview of Current Scientific Knowledge*. Rome: FAO, Fisheries and Aquacultures Technical Paper, 530, pp. 151-212, 2009.

SIQUEIRA, T. V. de. **Aquicultura: a nova fronteira para produção de alimentos de forma sustentável.** *Revista do BNDES*, v. 25, n. 49, p. 119-170, 2018.

SOTO, D.; LEÓN-MUÑOZ, J.; DESDNER, J.; LUENGO, C.; TAPIA, F. J.; GARREAUD, R. **Salmon farming vulnerability to climate change in southern Chile: understanding the biophysical, socioeconomic and governance links.** *Reviews in Aquaculture*, 11(2): 354-374, 2019. DOI: 10.1111/raq.12336

SOUSA, A. C. & ABDALA, K. de O. **Sustentabilidade, do conceito à análise.** *Revista Metropolitana de Sustentabilidade*, v. 10, n. 2, p. 146-166, 2020.

SUBONG, R. J. & FERNADEZ, C. J. **Co-managing risk: disaster relief in agricultural and fishing communities in Central Philippines.** In: JOHNSON, J.; YOUNG, C. D.; BAHRI, T.; SOTO, D.; VIRAPAT, C. (Eds.) *Proceedings of FishAdapt: the Global Conference on Climate Change Adaptation for fisheries and Aquaculture, Bangkok, 8-10 August, 2016*. Rome: FAO, Fisheries and Aquaculture Proceedings, 61. pp. 135-143, 2019.

SVENSSON, G.; FERRO, C.; HØGEVOLD, N.; PADIN, C.; VARELA, J. C. S.; SARSTEDT, M. **Framing the triple bottom line approach: Direct and mediation effects between economic, social and environmental elements.** *Journal of Cleaner Production Volume*, 197(1): 972-991, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.06.226

SVENSSON, G.; HØGEVOLD, N.; FERRO, C.; VARELA, J. C. S.; PADIN, C.; WAGNER, B. **A triple bottom line dominant logic for business sustainability: Framework and empirical findings.** *Journal of Business-to-Business Marketing*, 23(2): 153-188, 2016. DOI: 10.1080/1051712X.2016.1169119

TUCKER, C. S.; HARGREAVES, J. A.; BOYD, C. E. **Better management practices for freshwater pond aquaculture.** In: TUCKER, C. S.; HARGREAVES, J. A. (Eds.) *Environmental Best Management Practices for Aquaculture*. John Wiley & Sons, pp. 151-226, 2008. DOI: 10.1002/9780813818672.ch6

WCED – World Commission on Environment and Development. *Our common future*. 1st ed. New York: Oxford University Press, 1987, 416p.

VALENTI, W. C. **A aqüicultura Brasileira é sustentável?** In: *Seminário Internacional de Aqüicultura, Maricultura e Pesca*. Florianópolis: AQUAFAIR, 2008, 11p. Disponível em: <www.avesui.com/anais>. Acesso em: 20 de janeiro de 2025.

VALENTI, W. C. **Measuring sustainability in aquaculture systems.** *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 26: 303, 2013. DOI: 10.17533/udea.rccp.324843

VALENTI, W. C.; BARROS, H. P.; MORAES-VALENTI, P.; BUENO, G. W.; CAVALLI, R. O. **Aquaculture in Brazil: Past, present and future.** *Aquaculture Reports*, 19: 100611, 2021. DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100611

VALENTI, W. C.; KIMPARA, J. M.; PRETO, B. L. **Measuring Aquaculture Sustainability.** *World Aquaculture*, 42(3): 26-30, 2011.

VALENTI, W. C.; KIMPARA, J. M.; PRETO, B. de L.; MORAES-VALENTI, P. **Indicators of sustainability to assess aquaculture systems.** *Ecological Indicators*, 88: 402-413, 2018. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.12.068

VEIGA, J. E. da. **Indicadores de sustentabilidade.** *Estudos Avançados*, 24(68): 39-52, 2010. DOI: 10.1590/S0103-40142010000100006

VOLPE, J. P.; GEE, J. L. M.; ETHIER, V. A.; BECK, M.; WILSON, A. J.; STONE, J. M. S. **Global Aquaculture Performance Index (GAPI): The First Global Environmental Assessment of Marine Fish Farming.** *Sustainability*, 5(9): 3976-3991, 2013. DOI: 10.3390/su5093976

VINCE, J. & HAWARD, M. **Hybrid governance of aquaculture: Opportunities and challenges.** *Journal of Environmental Management*, 201: 138-144, 2017. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.06.039

WAAS, T.; HUGÉ, J.; BLOCK, T.; WRIGHT, T.; BENITEZ-CAPISTROS, F.; VERBRUGGEN, A. **Sustainability Assessment and Indicators: Tools in a Decision-Making Strategy for Sustainable Development.** *Sustainability*, 6(9): 5512-5534, 2014. DOI: 10.3390/su6095512

YAMAGUCHI, M. M.; BARRETO, L. E. G. S.; IGARASHI, M. A. **Estratégias para o Desenvolvimento da Aquicultura no Brasil.** *UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 7, n. 1, p. 13-24, 2008.

YAZDI, S. K. & SHAKOURI, D. **The effects of climate change on aquaculture.** *International Journal of Environmental Science and Development*, 1(5): 378-382, 2010. DOI: 10.18178/IJESD

YI, S. **Determinants of Consumers' Purchasing Behavior for Certified Aquaculture Products in South Korea.** *Sustainability*, 11(14): 3840, 2019. DOI: 10.3390/su11143840

XUAN, B. B. **Consumer preference for eco-labelled aquaculture products in Vietnam.** *Aquaculture*, 532(4): 736111, 2021. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.736111

CAPÍTULO II

DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E DE CRESCIMENTO DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*) SOB DIFERENTES MODELOS PRODUTIVOS DE INTENSIFICAÇÃO

Publicado na Brazilian Journal of Biology, vol. 85, e293898, 2025

e-ISSN: 1678-4375

DOI: 10.1590/1519-6984.293898

Área: Ciências Biológicas

Classificação Qualis (Zootecnia/Recursos Pesqueiros): A3

Fator de Impacto Scopus: 3.20

DESEMPENHO ZOOTÉCNICO E DE CRESCIMENTO DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*) SOB DIFERENTES MODELOS PRODUTIVOS DE INTENSIFICAÇÃO

ZOOTECHNICAL AND GROWTH PERFORMANCE OF TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*) UNDER DIFFERENT PRODUCTIVE MODELS OF INTENSIFICATION

LIMA, Carlos André Silva^{a,b}; LAVAREDA, Adria de Souza^b; FARIAS, Cindy Taianne da Silva^b; PANTOJA-LIMA, Jackson^c; YAMAMOTO, Kedma Cristine^b

^aInstituto de Proteção Ambiental do Amazonas – IPAAM, Manaus, AM, Brasil.

^bUniversidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus, AM, Brasil.

^cInstituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, Presidente Figueiredo, AM, Brasil.

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho zootécnico do tambaqui (*Colossoma macropomum*) para engorda (> 2 kg) sob três estratégias de manejo em nove pisciculturas de tanques escavados, igualmente distribuídas em: *Baixa Eficiência Produtiva (BEP)* – 6 a 8 ton ano⁻¹ sem aeração; *Média Eficiência Produtiva (MEP)* – 9 a 14 ton ano⁻¹ com aeração emergencial e *Alta Eficiência Produtiva (AEP)* – 15 a 22 ton ano⁻¹ com aeração suplementar. Dados primários de manejo dos tanques foram coletados *in situ* e parâmetros de qualidade de água foram monitorados. Índices de desempenho foram avaliados através de biometrias mensais durante todo o ciclo. A relação peso-comprimento, o Fator de Condição Relativo (k_n), a curva de crescimento (von Bertalanffy) e a Taxa de Crescimento Instantânea (TCI) também foram obtidos para comparação. Análise de Variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância foi aplicada para avaliar o efeito da eficiência produtiva dos modelos sobre o desempenho zootécnico. Os resultados demonstraram diferença ($p < 0,05$) entre as estratégias de produção na estocagem, densidade e produtividade, com forte correlação positiva ($R^2 > 0,90$) entre os parâmetros. Indicadores de qualidade da água de oxigênio (4,49 – 4,99 mg L⁻¹), pH (6,51 – 6,77), temperatura (31,12 – 33,81 °C), condutividade (43,37 – 55,63 µS cm⁻¹), transparência (23,04 – 26,92), nitrito (0,06 – 0,08 mg L⁻¹) e nitrato (0,36 – 0,42 mg L⁻¹) ficaram dentro dos padrões de cultivo. Fósforo (0,37 – 0,48 mg L⁻¹) e SST (65,85 - 91,12 mg L⁻¹) sugerem maiores cargas de nutrientes promovidas por altas densidades. Diferenças entre os sistemas demonstram melhores resultados gerais para AEP no peso final (2.726,53 ± 136,99 g), ganho de peso (2.719,98 ± 133,84 g) e conversão alimentar aparente (1,82 ± 0,02). A relação peso-comprimento indicou alometria positiva ($b > 3$) em todos os modelos, com ótimo ajuste ($R^2 > 0,90$) a partir dos valores médios. Resultados de $k_n > 1,0$ sugerem boas condições de crescimento do tambaqui nas pisciculturas e as curvas de crescimento e TCI revelaram diferenças ($p < 0,05$) no desempenho, sugerindo que as estratégias de produção alteram a maneira como os peixes crescem. Sistemas com maior produtividade demonstram, pelos melhores resultados, maior cuidado no manejo. Recomenda-se a adoção de estratégias de intensificação para otimização no uso de recursos e aumento da escala de produção do tambaqui.

Palavras-chave: Eficiência, manejo, piscicultura, produção.

1. INTRODUÇÃO

A aquicultura vem se desenvolvendo em ritmo crescente mundialmente, como reflexo do declínio da pesca extrativista e aumento da demanda de pescado como fonte de proteína animal. De acordo com estimativas da FAO (2024) mais recentes, em 2022 a produção mundial aquícola apontou pela primeira vez na história superação sobre a captura, com 185,4 milhões de toneladas, equivalendo a 51% do total de animais aquáticos produzidos.

Em decorrência do rápido crescimento, o setor aquícola tem evidenciado a necessidade de conciliar produção com sustentabilidade ambiental (VALENTI *et al.*, 2021). Apesar da disputa com outras atividades agrícolas por recursos ser um dos principais desafios enfrentados, o ramo possui vantagens na produção de alimentos pelo potencial de aproveitamento de subprodutos e capacidade de uso de pequenas áreas improdutivas para outras finalidades (MACEDO & SIPAÚBA-TAVARES, 2010; OTTINGER *et al.*, 2016; BOYD *et al.*, 2020; PRAXEDES *et al.*, 2021; VALENTI *et al.*, 2021).

Do ponto de vista socioeconômico, a aquicultura é considerada favorável, promovendo vários benefícios, como geração de emprego e contribuição à segurança alimentar. Contudo, para ser sustentável, deve promover formas de produção que estimulem o consumo eficiente de água e matérias-primas, bem como o aumento da produtividade por área através de melhorias das condições e práticas de manejo (OLIVEIRA, 2009; OTTINGER *et al.*, 2016; AHMED *et al.*, 2020; BOYD *et al.*, 2020; HILSDORF *et al.*, 2021; VALENTI *et al.*, 2021).

O Brasil possui grande potencial para atividade, avaliada por sua extensão territorial, qualidade e quantidade de água, bem como clima favorável (OLIVEIRA, 2009; PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; VALENTI *et al.*, 2021). Apesar da capacidade produtiva, o país registrou produção modesta em 2022, estimada em 738,0 mil toneladas, equivalendo a somente 14,9% do total produzido nas américas e 0,40% mundialmente (FAO, 2024).

O tambaqui (*Colossoma macropomum*) destaca-se como a principal espécie nativa cultivada no país, representando 18% da produção aquícola continental, se tornando uma opção promissora para a piscicultura nacional (BARÇANTE & SOUZA, 2015; HILSDORF *et al.*, 2021; VALENTI *et al.*, 2021). Por sua rusticidade, rápido crescimento, boa adaptabilidade às condições de cultivo tradicionais e reprodução facilitada, este tem se consolidado na região Amazônica, sendo apreciado pela qualidade de sua carne (SAINT-PAUL, 1984; IZEL *et al.*, 2013; BARÇANTE & SOUZA, 2015; PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; MORAIS & O'SULLIVAN, 2017; HILSDORF *et al.*, 2021; VAL & OLIVEIRA, 2021).

Apesar da alta capacidade produtiva, poucas informações sobre otimização na produção comercial tambaqui e suas aplicações práticas são reportados (RESENDE, 2009; MARCOS *et al.*, 2016; PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; QUEIROZ *et al.*, 2016; SOUSA *et al.*, 2016b; OLIVEIRA & SOUZA, 2017; LEAL *et al.*, 2020; MARCOS *et al.*, 2020). Falta de estudos sobre melhoramento genético, eficiência no uso de dietas e reprodução têm retardado o aumento do interesse no cultivo da espécie (GORDON *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2020a; HENRIKSSON *et al.*, 2021; HILSDORF *et al.*, 2021).

No Amazonas, a produtividade do tambaqui fica aquém da sua capacidade, onde ocorrência de pisciculturas intensivas de alto desempenho são escassas (OLIVEIRA *et al.*, 2012; PANTOJA-LIMA *et al.*, 2015; COSTA *et al.*, 2018a; LIMA *et al.*, 2019; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; MORAES *et al.*, 2021). Restrições ao uso de tecnologias, conhecimento técnico limitado e inadequada gestão das fazendas pelos piscicultores, somadas à escassez de políticas públicas e grande burocracia, têm levado o desperdício do uso potencial da espécie (PANTOJA-LIMA *et al.*, 2015; PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; COSTA *et al.*, 2018a; LIMA *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2020; MORAES *et al.*, 2021).

O aprimoramento da produção em cativeiro do tambaqui possui capacidade de contribuir para a impulsionar a aquicultura nacional. Para isso, questões como a implementação de boas práticas de manejo e o uso de tecnologias de intensificação são primordiais para viabilizar melhores taxas de estocagem, que é atualmente considerada baixa em comparação a outras espécies (PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; LIMA *et al.*, 2020; VALENTI *et al.*, 2021).

A intensificação é considerada promissora para a expansão econômica da piscicultura (FERRI *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; HILSDORF *et al.*, 2021; ARAÚJO *et al.*, 2024). A estratégia também é ambientalmente benéfica, pois otimiza o uso de áreas e recursos naturais, reduzindo a pressão sobre a pesca extrativa devido à maior oferta de pescado (BOYD *et al.*, 2020; VAL & OLIVEIRA, 2021; VALENTI *et al.*, 2021).

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho zootécnico do tambaqui em fazendas operacionais de acordo com diferentes modelos produtivos de eficiência em escala comercial, considerando a influência dos processos de gestão e tomadas de decisões técnicas e administrativas sobre os parâmetros de desenvolvimento da espécie.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido em empreendimentos de piscicultura de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em viveiros de terra firme localizados na Região Metropolitana de Manaus (RMM), situado no estado do Amazonas e inserido em zona equatorial na Amazônia Central (Figura 01).

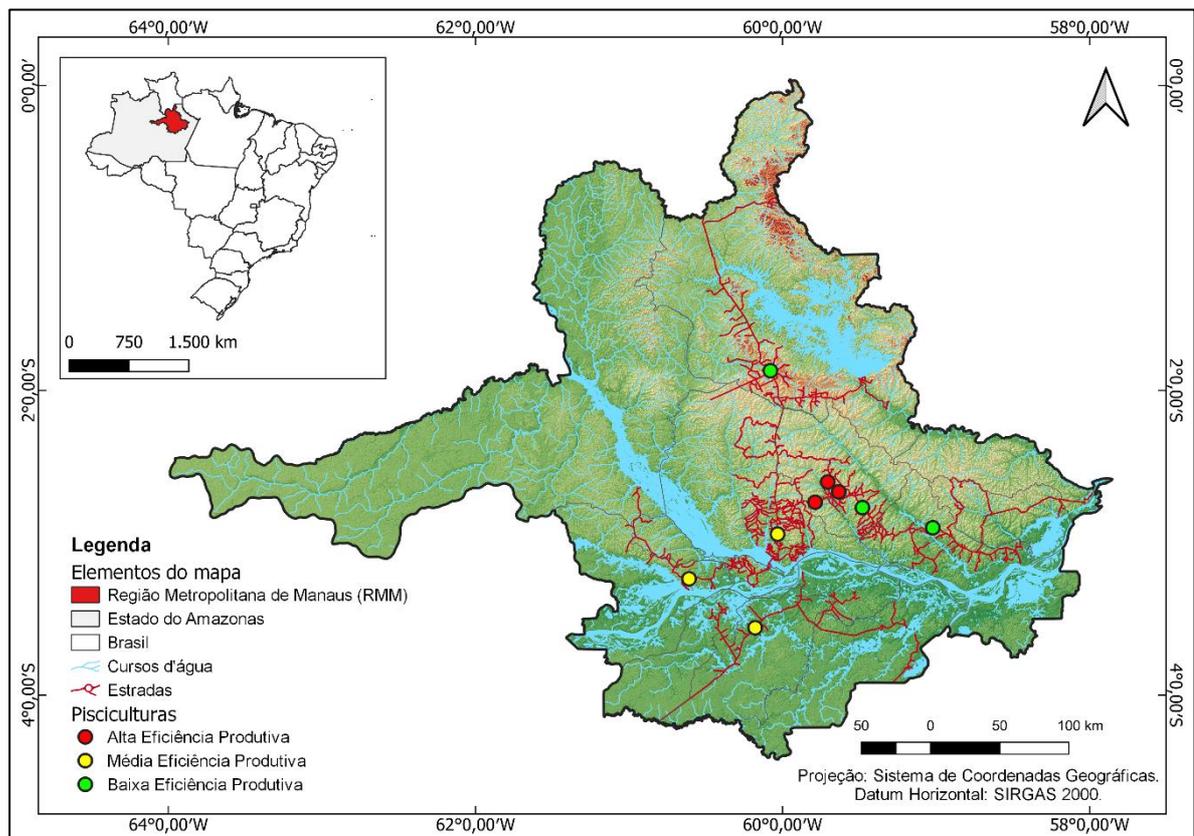


Figura 01. Área de estudo com localização dos empreendimentos selecionados.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Pertencente à região norte do Brasil e situado em zona equatorial na Amazônia Central, o estado possui clima tropical, que pelas condições ambientais favoráveis, aliadas as características da espécie, apresenta forte potencial para produção nesta modalidade de criação (GANDRA, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2012; PANTOJA-LIMA *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2020; HILSDORF *et al.*, 2021; MORAES *et al.*, 2021).

2.2. DESENHO AMOSTRAL

Nove pisciculturas operacionais de terra firme com monocultivo do tambaqui foram selecionadas e igualmente agrupadas a cada três unidades amostrais entre as seguintes estratégias de intensificação: *Baixa Eficiência Produtiva (BEP)* – 6-8 t ha⁻¹ sem aeração; *Média Eficiência Produtiva (MEP)* – 9-14 t ha⁻¹ com aeração emergencial (quando O₂ < 3,0 mg L⁻¹); *Alta Eficiência Produtiva (AEP)* – 15-22 t ha⁻¹ com aeração suplementar (noturna) contínua (para O₂ > 3,0 mg L⁻¹) (IZEL & MELO, 2004; CAVERO *et al.*, 2009; IZEL *et al.*, 2013; BARÇANTE & SOUZA, 2015; MORAIS & O’SULLIVAN, 2017; COSTA *et al.*, 2018a; COSTA *et al.*, 2020; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020).

Para as coletas, dois viveiros foram acompanhados *in situ* durante um ciclo completo de produção. As densidades e as áreas alagadas são apresentadas conforme as estratégias de: *BEP* – 0,29 peixes m² em B₁: 532,15 ± 51,69 m² (495,60 m²; 568,70 m²), B₂: 184,20 ± 122,75 m² (97,40 m²; 271,00 m²) e B₃: 445,90 ± 25,74 m² (427,70 m²; 464,10 m²); *MEP* – 0,48 peixes m² em M₁: 3.827,15 ± 1.035,42 m² (4.559,30 m²; 3.095,00 m²), M₂: 148,45 ± 7,71 m² (153,90 m²; 143,00 m²) e M₃: 1.454,40 ± 38,33 m² (1.481,50 m²; 1.427,30 m²) e *AEP* – 0,70 peixes m² em A₁: 1.624,25 ± 153,23 m² (1.515,90 m²; 1.732,60 m²), A₂: 1.252,70 ± 38,47 m² (1.279,90 m²; 1.225,50 m²) e A₃: 1.060,40 ± 474,19 m² (1.395,70 m²; 725,10 m²).

2.3. MANEJO DOS VIVEIROS

As fases de cultivo compreenderam a alevinagem e recria (0 – 350 g), com período de 40 a 90 dias, seguida da etapa de engorda e terminação (350 – 3.000 g) de 330 a 380 dias até a despesca total dos tanques de produção. A estocagem foi feita com animais de mesma classe etária, provenientes de fornecedores locais, sendo o povoamento e aclimação realizados de forma simultânea nos dois tanques selecionados em cada empreendimento.

Para as avaliações de desempenho e ajuste no manejo alimentar, foram realizadas biometrias mensais nos animais até a despesca, com amostragens coletadas conforme o tamanho da população, considerando limitações de manejo em função do tamanho dos tanques. A amostras foram de 10,0 – 20,0% em *BEP* (B₁: 150 peixes; B₂: 100 peixes; A₃: 150 peixes); 1,0 – 15,0% em *MEP* (M₁: 200 peixes; M₂: 100 peixes; M₃: 200 peixes), e 1,5 – 3,0% em *AEP* (A₁: 200 peixes; A₂: 200 peixes; A₃: 200 peixes).

A alimentação foi realizada com rações comerciais extrusadas para peixes onívoros, ajustada de acordo com fase de crescimento, seguindo recomendações de fabricantes (Farias *et al.*, 2021). A alevinagem e recria seguiu os seguintes protocolos de alimentação, com respectivos teores de proteína bruta, taxa de fornecimento sobre a biomassa e frequência: *BEP* – B₁: 45-34%; 10-3% dia⁻¹; 4-2x dia; B₂: 45-36%; 10-4% dia⁻¹; 4-2x dia; B₃: 45-36%; 08-3% dia⁻¹; 4-3x dia; *MEP* – M₁: 45-34%; 8-3% dia⁻¹; 3-2x dia; M₂: 45-36%; 10-3% dia⁻¹; 4-2x dia; M₃: 46-36%; 8-3% dia⁻¹; 4-2x dia; *AEP* – A₁: 45-34%; 10-3% dia⁻¹; 6-3x dia; A₂: 45-28%; 10-3% dia⁻¹; 4-2x dia; A₃: 45-36%; 10-3% dia⁻¹; 4-3x dia. A engorda e terminação implementou os manejos: *BEP* – B₁: 28%; 3-0,8% dia⁻¹; 2x dia; B₂: 36-28%; 4-0,8% dia⁻¹; 2-1x dia; B₃: 36-28%; 3-0,6% dia⁻¹; 3-1x dia; *MEP* – M₁: 34-28%; 3-0,8% dia⁻¹; 2-1x dia; M₂: 36-28%; 3-0,8% dia⁻¹; 2-1x dia; M₃: 28%; 3-0,6% dia⁻¹; 2-1x dia; *AEP* – A₁: 34-28%; 3-0,6% dia⁻¹; 3-1x dia; A₂: 28%; 3-0,5% dia⁻¹; 2-1x dia; A₃: 36-28%; 3-0,6% dia⁻¹; 2-1x dia.

Aeradores elétricos de aspersão (chafariz) comerciais foram utilizados na oxigenação da água nos tanques de média (*MEP*) e alta (*AEP*) densidades a uma taxa de eficiência padrão (*SAE*) de 1,69 kg O₂ cv⁻¹ h. A taxa de aeração utilizada foi de 3,13 ±0,58 cv ha⁻¹ para as pisciculturas de *MEP* (M₁: 2,95 cv ha⁻¹; M₂: 3,78 cv ha⁻¹; M₃: 2,67 cv ha⁻¹) e 5,78 ±0,33 cv ha⁻¹ para *AEP* (A₁: 6,00 cv ha⁻¹; A₂: 5,94 cv ha⁻¹; A₃: 5,40 cv ha⁻¹), sendo o tempo de operação médio dos equipamentos de 653,00 ±35,71 h ciclo⁻¹ para *MEP* (M₁: 683,00 h ciclo⁻¹; M₂: 613,50 h ciclo⁻¹; M₃: 662,50 h ciclo⁻¹) e 1.419,17 ±0.030,18 h ciclo⁻¹ para *AEP* (A₁: 1.401,00 h ciclo⁻¹; A₂: 1.454,00 h ciclo⁻¹; A₃: 1.402,50 h ciclo⁻¹).

Os empreendimentos também seguiram protocolos de preparo dos tanques antes do povoamento, através da calagem como medida profilática/sanitária, com 3.000 kg ha⁻¹ de calcário agrícola (dolomítico) [CaMg(CO₃)₂], sendo ainda feita a fertilização da água com 30 kg ha⁻¹ de ureia [CH₄N₂O]. Foi registrado em todos os empreendimentos de média e alta eficiência, tratamento dos tanques com probióticos do gênero *Bacillus* spp., na proporção de 5,0 x 10¹⁰ UFC g⁻¹ e taxa de aplicação do fabricante de 300 g ha⁻¹ semana durante todo o cultivo.

Ressalta-se que não houve interferência da pesquisa no processo produtivo, nos métodos de gestão ou estratégias de comercialização praticados nas fazendas, sendo que as decisões gerenciais adotadas pelos produtores foram influenciadas por orientações repassadas através de consultorias e assistências técnicas de origem particulares, financiadas pelos proprietários.

2.4. ÍNDICES DE DESEMPENHO

Através das biometrias mensais, dados de peso total (g) e comprimento total (cm) foram medidos com uso de balança digital com precisão de 0,1 gramas e ictiômetro, respectivamente. Valores de área alagada (hectares), mortalidade, tempo de cultivo (dias) e quantidade de ração administrada (kg) também foram registrados e aplicados nos cálculos dos resultados de desempenho.

Os seguintes índices zootécnicos foram obtidos através das médias dos indivíduos nos taques: *a*) Ganho de Peso (GP) (g dia⁻¹); *b*) Ganho de Comprimento (GC) (cm dia⁻¹); *c*) Coeficiente de Variação (CV) de peso e comprimento (%); *d*) Conversão Alimentar Aparente (CAA); *e*) Eficiência Alimentar (EA) (% dia⁻¹), e *f*) Taxa de Crescimento Específico (TCE) (% peso dia⁻¹) (COSTA *et al.*, 2018; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; FARIAS *et al.*, 2021).

Foram avaliados os resultados da relação peso-comprimento dos animais a partir da média de todos os indivíduos coletados ao longo do período de criação (tempo de cultivo), através da equação 1:

$$W_t = a \cdot L_t^b \quad (1)$$

Onde W_t é o peso total do peixe em gramas no tempo t em meses, L_t é o comprimento total do peixe em centímetros no tempo t em meses, a é o fator de condição ou coeficiente de crescimento inicial e b é a constante relacionada à forma de crescimento do peixe (isométrico ou alométrico).

Para estimar valores de a e b , foi adotado o método dos mínimos quadrados após transformação logarítmica dos dados (SOUZA *et al.*, 2012), sendo demonstrada pela equação de regressão linear (Equação 2):

$$\ln W_t = \ln \alpha + \beta \cdot \ln L_t \quad (2)$$

Onde \ln é o logaritmo natural, $\alpha = e^a$ e $\beta = b$ (KEYS, 1928).

O Fator de Condição Relativo (k_n) dos animais na produção foi utilizado para medir o desvio de peso médio em relação ao comprimento do indivíduo em uma amostragem, sendo calculado pelo método alométrico ($b \neq 3$), obtido através da equação 3:

$$k_n = W_t / (L_t)^b \quad (3)$$

Onde W_t é a massa total do peixe em gramas no tempo t em meses, L_t é o comprimento total dos indivíduos em centímetros no tempo t em meses, e b o coeficiente de regressão (LE CREN, 1951).

Curvas de crescimento de von Bertalanffy (1938) foram obtidas através das equações de peso (Equação 4):

$$W_t = W_\infty \cdot [1 - e^{-K(t-t_0)}]^b \quad (4)$$

e comprimento (Equação 5):

$$L_t = L_\infty \cdot [1 - e^{-K(t-t_0)}] \quad (5)$$

Onde W_∞ é o valor máximo de crescimento em peso em gramas, L_∞ é o valor máximo de crescimento em comprimento em centímetros, K é o índice de maturidade do peixe, t é a idade do indivíduo relacionada ao tempo de criação em meses, t_0 é o parâmetro de correção que corresponde ao peso do animal ao nascer, e b é o coeficiente angular da curva.

Parâmetros de L_∞ , K e t_0 foram obtidos pela transformação de Ford-Walford (1946) dos dados de comprimento, ajustada pelo método dos mínimos quadrados (SOUZA *et al.*, 2012; MELLO & NUNES, 2017), através das seguintes equações 6, 7 e 8:

$$L_\infty = a/(1 - \beta) \quad (6)$$

$$K = -\beta \quad (7)$$

$$t_0 = a/\beta \quad (8)$$

Onde a é a interseção e β é a inclinação da reta.

O valor de W_∞ foi obtido posteriormente por meio da relação peso-comprimento (SOUZA *et al.*, 2012), através da equação 9:

$$W_\infty = a \cdot L_\infty^b \quad (9)$$

A Taxa de Crescimento Instantânea (TCI_w), que estima o incremento de peso para cada unidade de tempo t em gramas por mês, foi calculada a partir da derivação da equação da curva de crescimento em peso (Equação 4) (FREITAS, 2005), através da equação 10:

$$TCI_w = b \cdot K \cdot W_\infty \cdot [1 - e^{-K(t-t_0)}]^{(b-1)} \cdot e^{-K(t-t_0)} \quad (10)$$

Para o comprimento (TCI_l) em centímetros por mês, foi utilizada a equação 11:

$$TCI_l = (K \cdot L_\infty) - [K \cdot (t - t_0)] \quad (11)$$

O tempo de inflexão da curva (t^*) em meses, em que a variação da curva é máxima (CILDOZ & PALOMINO, 2017), foi obtido pela equação 12:

$$t^* = \left[\left(\frac{1}{K} \right) \cdot \ln(b) \right] - t_0 \quad (12)$$

A partir do valor de t^* , foi estimado o ponto de inflexão ou estabilização do peso (W^*) e comprimento (L^*) em gramas, pela expressão de Bertalanffy generalizada aos dados, onde $W^* = W(t^*)$ (FITZHUGH JR, 1976; FREITAS, 2005; PENNA *et al.*, 2005; GOSHU & KOYA, 2013; MARIGUCHI, 2018; DONG & ZHOU, 2023; BERTONE *et al.*, 2024).

2.5. QUALIDADE DE ÁGUA

Para avaliar a influência sobre os resultados zootécnicos, foram monitorados semanalmente *in situ* parâmetros de qualidade de água para: oxigênio (mg L^{-1}), pH, temperatura ($^\circ\text{C}$) e condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) com sonda multiparamétrica (HI98194, HANNA[®]), e transparência (cm) com Disco de Secchi. A turbidez (UNT) foi medida mensalmente com turbidímetro (Plus II, Alfakit).

Amostras de água coletadas dos tanques também foram analisadas em laboratório (APHA, 2005) para: amônia não ionizada (NH_3) (mg L^{-1}) (4500- NH_3 F), nitrito (N-NO_2^-) (mg L^{-1}) (4500- NO_2 B), nitrato (N-NO_3^-) (mg L^{-1}) (4500- NO_3 E), fósforo (P) (mg L^{-1}) (4500-P B5/4500-P D) e sólidos em suspensão totais (SST) (mg L^{-1}) (2540 D). Os resultados foram comparados com valores de referência (IZEL & MELO, 2004; CAVEIRO *et al.*, 2009; LEIRA *et al.*, 2017; CONDE *et al.*, 2021; VERMA *et al.*, 2022) e com os limites da Resolução CONAMA N^o 357/2005 para águas doces classes I e II (CONAMA, 2005).

2.6. ANÁLISE DOS DADOS

Para análise descritiva dos dados, foram obtidos valores de média e desvio padrão. A comparação entre os níveis de eficiência produtiva foi realizada por Análise de Variância (ANOVA) a 5% de significância, após verificação dos pressupostos de normalidade de distribuição e homogeneidade de variância. Sendo verificada diferença significativa ($p < 0,05$), aplicou-se o teste *pos-hoc* de Tukey para comparação das médias. Todas as análises estatísticas foram processadas nos *softwares* Past (versão 4.17) e auxílio do Microsoft Excel® 2021.

3. RESULTADOS

3.1. CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO

As fazendas apresentam características distintas entre as estratégias de cultivo adotadas, constatadas pelos índices de desempenho na estocagem, densidade e produtividade alcançados nos viveiros escavados acompanhado (Tabela 01).

Tabela 01. Parâmetros de cultivo e desempenho zootécnicos de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.

Tipo	Item ¹	Unidade	Modelos Produtivos ²			p-valor
			Baixa Eficiência Produtiva	Média Eficiência Produtiva	Alta Eficiência Produtiva	
Cultivo	AA _t	ha	0,39 ±0,18	1,81 ±1,86	1,31 ±0,29	0,3383
	QP _i	peixes	1.133,33 ±520,42	8.775,00 ±9.036,83	9.325,00 ±2.045,88	0,1930
	QP _f	peixes	1.128,17 ±519,86	8.762,50 ±9.030,25	9.316,83 ±2.045,31	0,1930
	Mo _u	un	5,17 ±0,58	12,50 ±6,76	8,33 ±3,33	0,2000
	CR _t	kg	5.363,78 ±2.521,64	44.302,13 ±46.599,65	46.135,30 ±12.127,43	0,2087
Desempenho	E _i	peixes ha ⁻¹	2.948,45 ±58,56^c	4.859,40 ±21,48^b	7.104,73 ±6,99^a	< 0,001
	E _f	peixes ha ⁻¹	2.932,11 ±49,78^c	4.842,32 ±4,57^b	7.098,12 ±9,34^a	< 0,001
	D _i	kg ha ⁻¹	12,14 ±4,77^b	16,38 ±3,37^{ab}	46,56 ±22,46^a	0,0385
	D _f	kg ha ⁻¹	7.196,87 ±72,09^c	13.013,47 ±336,53^b	19.354,25 ±996,89^a	< 0,001
	T _c	dias	413,33 ±3,06	406,00 ±16,46	378,00 ±18,19	0,0505
	Pro	kg ha ⁻¹ ano	6.268,66 ±98,12^c	11.549,11 ±462,14^b	18.480,60 ±1.667,54^a	< 0,001
	Mo _p	%	0,55 ±0,29	0,35 ±0,36	0,09 ±0,05	0,1875
CR _m	kg peixe ⁻¹	4,72 ±0,10	4,92 ±0,24	4,96 ±0,26	0,4085	

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

⁽¹⁾: AA_t = Área alagada dos tanques; QP_i = Quantidade inicial de peixes; QP_f = Quantidade final de peixes; Mo_u = Mortalidade unitária; CR_t = Consumo total de ração; E_i = Estocagem inicial; E_f = Estocagem final; D_i = Densidade inicial; D_f = Densidade final; T_c = Tempo de cultivo; Pro = Produtividade; Mo_p = Mortalidade percentual; CR_m = Consumo médio de ração.

⁽²⁾: Médias ± desvio-padrão com letras iguais na mesma linha para o mesmo indicador não diferem significativamente ($p > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

As pisciculturas apresentaram estocagem médias diferentes ($p < 0,05$) entre as modalidades de produção, o que refletiu nos resultados de densidade e produtividade. Empreendimentos de *AEP* se destacaram com maior taxa de estocagem final, com $7.098,12 \pm 9,34$ peixes ha^{-1} e densidade de $19.354,25 \pm 996,89$ kg ha^{-1} . Não houve diferença ($p > 0,05$) entre os modelos quanto ao tempo de produção, porém, as fazendas de *AEP* alcançaram menor período em média ($378,00 \pm 18,19$ dias) para completar o ciclo produtivo, o que contribuiu positivamente para a produtividade, que chegou a $18.480,60 \pm 1.667,54$ kg ha^{-1} ano.

Piores índices foram alcançados por *BEP* para a densidade ($7.196,87 \pm 72,09$ kg ha^{-1}) e produtividade médias ($6.268,66 \pm 98,12$ kg ha^{-1} ano) em função da estocagem ($2.932,11 \pm 49,78$ peixes m^2^{-1}), sendo também observada maior mortalidade ($0,55 \pm 0,29\%$). As fazendas não divergiram ($p < 0,05$) quanto ao consumo médio da ração entre as estratégias, sendo, no entanto, alcançadas maiores taxas nas pisciculturas de *BEP*, com $4,72 \pm 0,10$ kg peixe^{-1} , e maiores em *AEP*, com $4,96 \pm 0,26$ kg peixe^{-1} .

3.2. QUALIDADE DE ÁGUA

Os resultados das variáveis de qualidade de água com valores médios, mínimos e máximos proveniente dos tanques de produção conforme modelos produtivos e respectivos parâmetros de referência são apresentados na tabela 02.

Tabela 02. Parâmetros de qualidade de água coletados nos empreendimentos de piscicultura de tambaqui (*Colossoma macropomum*) na Amazônia Central.

Item ¹	Valores de referência	Modelos Produtivos					
		Baixa Eficiência Produtiva		Média Eficiência Produtiva		Alta Eficiência Produtiva	
		Mín-Máx	Média \pm DP	Mín-Máx	Média \pm DP	Mín-Máx	Média \pm DP
O.D.	> 5,0 ^a	2,87 - 7,44	4,92 \pm 0,69	2,89 - 6,89	4,99 \pm 0,42	3,11 - 5,75	4,49 \pm 0,40
pH	6,0 a 9,0 ^{a;d;e}	5,22 - 7,92	6,51 \pm 0,28	5,79 - 7,82	6,62 \pm 0,15	5,85 - 7,69	6,77 \pm 0,19
T	26,0 a 30,0 ^{b;c;d}	29,05 - 33,81	31,12 \pm 0,16	28,79 - 33,35	30,65 \pm 0,48	28,56 - 33,02	30,94 \pm 0,59
CE	20 a 100,0 ^d	8 - 76	43,37 \pm 2,89	17 - 73	44,97 \pm 5,56	18 - 129	55,63 \pm 11,61
Tra	20 a 40 ^{b;c;e}	20 - 36	26,92 \pm 2,42	18 - 36	26,66 \pm 3,44	15 - 35	23,04 \pm 4,35
Tur	< 100 ^{a;d}	9 - 89	39,20 \pm 3,88	10 - 146	63,89 \pm 17,99	20 - 114	61,90 \pm 6,10
NH ₃	< 0,5 ^{b;d}	0,07 - 1,25	0,54 \pm 0,11	0,03 - 1,64	0,49 \pm 0,15	0,01 - 1,07	0,52 \pm 0,14
N-NO ₂ ⁻	< 0,1 ^{a;b}	0,00 - 0,21	0,06 \pm 0,01	0,01 - 0,23	0,08 \pm 0,02	0,01 - 0,16	0,07 \pm 0,01
N-NO ₃ ⁻	< 10,0 ^a	0,01 - 1,55	0,42 \pm 0,07	0,01 - 0,94	0,36 \pm 0,07	0,08 - 0,97	0,36 \pm 0,12
P	< 0,03 ^d	0,04 - 0,95	0,37 \pm 0,01	0,09 - 0,81	0,44 \pm 0,07	0,13 - 0,95	0,48 \pm 0,04
SST	< 500,0 ^a	11 - 152	65,86 \pm 17,14	26 - 162	84,50 \pm 19,11	22 - 187	91,12 \pm 14,05

Fontes: Dados da pesquisa (2024).

(¹): O.D. = Oxigênio dissolvido (mg L^{-1}); pH = Potencial hidrogeniônico; T = Temperatura ($^{\circ}\text{C}$); CE = Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$); Tra = Transparência (cm); Tur = Turbidez (UNT); NH₃ = Amônia não ionizada (mg L^{-1}); N-NO₂⁻ = Nitrito (mg L^{-1}); N-NO₃⁻ = Nitrato (mg L^{-1}); P = Fósforo Total (mg L^{-1}); SST = Sólidos em Suspensão Totais (mg L^{-1}).

Legenda: a = Resolução CONAMA N^o 357/2005; b = Cavero *et al.* (2009); c = Leira *et al.* (2017); d = Conde *et al.* (2021), e = Verma *et al.* (2022).

O oxigênio médio variou entre $4,49 \pm 0,40$ e $4,99 \pm 0,42$ mg L⁻¹, sendo os menores valores registrados em *BEP*, com níveis mínimos de 2,87 mg L⁻¹. O pH foi considerado levemente ácido ($\leq 7,0$), porém próximo ao neutro, variando entre $6,51 \pm 0,28$ e $6,77 \pm 0,19$ e maior valor individual observado para *MEP*, com máximo de 7,82. Já a temperatura teve maiores níveis médios em *BEP*, com $31,12 \pm 0,16$ °C, alcançando máxima medição de 33,81 °C.

A condutividade elétrica variou entre $43,37 \pm 2,89$ e $55,63 \pm 11,61$ µS cm⁻¹, com maior nível observado para *AEP*, com 129 µS cm⁻¹. A transparência ficou entre $23,04 \pm 4,35$ e $26,92 \pm 2,42$ cm, sendo verificado menor índice individual em *AEP*, com 15 cm. Já a turbidez registrou $39,20 \pm 3,88$ UNT para *BEP*, o que sugere menor concentração de sólidos na água.

Parâmetros médios da amônia se mostraram elevados, com maior valor de $0,54 \pm 0,11$ mg L⁻¹ registrado para *BEP*. O nitrito e o nitrato ficaram abaixo dos limites de referência, registrando resultados médios máximos de $0,08 \pm 0,02$ mg L⁻¹ para *MEP* e $0,42 \pm 0,07$ mg L⁻¹ para *BEP*, respectivamente. A concentração de fósforo ficou entre $0,37 \pm 0,01$ e $0,48 \pm 0,04$ mg L⁻¹, acima do recomendado em todos os empreendimentos. Quanto aos sólidos em suspensão, foi observada em menor quantidade em *BEP*, com $65,86 \pm 17,14$ mg L⁻¹ e maior *AEP*, com $91,12 \pm 14,05$ mg L⁻¹.

3.3. DESEMPENHO ZOOTÉCNICO

Sobre a performance de desempenho, foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) para o peso final (P_f) e ganho de peso (GP) entre as estratégias de *BEP* e *MEP* em relação *AEP*, sendo apresentando para este último o melhor valor tanto geral, quanto individual de P_f ($2.726,53 \pm 136,99$ g; $P_{AEP\ 01} = 2.816,66 \pm 37,25$ g) e GP ($2.719,98 \pm 133,84$ g; $P_{AEP\ 01} = 2.808,26 \pm 37,02$ g) (Tabela 03).

Tabela 03. Valores médios (\pm desvio-padrão) dos índices de desempenho do cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas Amazônia Central.

Item ¹	Tipo ²	Empreendimento			Geral	<i>p</i> -valor
		Piscicultura 01	Piscicultura 02	Piscicultura 03		
		Média \pm DP	Média \pm DP	Média \pm DP	Média \pm DP ³	
P _i (g)	BEP	5,50 \pm 1,20	2,26 \pm 0,01	4,66 \pm 0,26	4,14 \pm1,68	0,2345
	MEP	3,69 \pm 0,28	2,57 \pm 0,09	3,87 \pm 0,04	3,37 \pm0,71	
	AEP	8,40 \pm 0,23	8,35 \pm 0,01	2,91 \pm 0,16	6,55 \pm3,16	
P _f (g)	BEP	2.501,63 \pm 179,62	2.382,50 \pm 21,58	2.481,27 \pm 189,43	2.455,13 \pm63,72^b	0,0269
	MEP	2.766,61 \pm 33,14	2.658,62 \pm 78,83	2.637,03 \pm 41,85	2.687,42 \pm69,42^{ab}	
	AEP	2.816,66 \pm 37,25	2.794,05 \pm 22,05	2.568,89 \pm 27,34	2.726,53 \pm136,99^a	
GP (g)	BEP	2.496,14 \pm 178,42	2.380,24 \pm 21,60	2.476,62 \pm 189,17	2.451,00 \pm62,05^b	0,0252
	MEP	2.762,92 \pm 33,41	2.656,06 \pm 78,74	2.633,16 \pm 41,80	2.684,05 \pm69,26^{ab}	
	AEP	2.808,26 \pm 37,02	2.785,70 \pm 22,03	2.565,98 \pm 27,50	2.719,98 \pm133,84^a	
CVP _i (%)	BEP	30,22 \pm 6,44	38,20 \pm 2,34	30,98 \pm 0,29	33,13 \pm4,40	0,0850
	MEP	34,80 \pm 3,54	37,48 \pm 2,69	37,53 \pm 4,50	36,60 \pm1,56	
	AEP	28,39 \pm 1,29	26,88 \pm 1,88	32,74 \pm 5,31	29,34 \pm3,04	
CVP _f (%)	BEP	13,12 \pm 1,62	9,60 \pm 0,65	10,27 \pm 3,01	11,00 \pm1,87	0,9331
	MEP	11,09 \pm 1,69	11,08 \pm 0,56	12,18 \pm 2,06	11,45 \pm0,63	
	AEP	9,21 \pm 1,19	10,97 \pm 0,92	13,03 \pm 0,62	11,07 \pm1,91	
C _i (cm)	BEP	6,57 \pm 0,41	4,80 \pm 0,04	6,29 \pm 0,08	5,89 \pm0,95	0,1675
	MEP	5,75 \pm 0,10	5,25 \pm 0,09	5,91 \pm 0,07	5,64 \pm0,35	
	AEP	7,99 \pm 0,27	7,82 \pm 0,01	5,76 \pm 0,06	7,19 \pm1,24	
C _f (cm)	BEP	49,76 \pm 1,61	49,19 \pm 0,35	50,63 \pm 1,63	49,86 \pm0,73	0,3995
	MEP	51,60 \pm 0,20	50,64 \pm 0,23	50,97 \pm 0,07	51,07 \pm0,49	
	AEP	51,70 \pm 0,25	50,67 \pm 0,41	48,69 \pm 0,33	50,35 \pm1,53	
GC (cm)	BEP	43,19 \pm 1,20	50,63 \pm 1,63	49,86 \pm 0,73	43,97 \pm0,68^b	0,0054
	MEP	50,64 \pm 0,23	50,97 \pm 0,07	51,07 \pm 0,49	45,43 \pm0,40^a	
	AEP	50,67 \pm 0,41	48,69 \pm 0,33	50,35 \pm 1,53	43,16 \pm0,48^b	
CVC _i (%)	BEP	13,25 \pm 1,24	18,27 \pm 0,22	13,02 \pm 0,18	14,85 \pm2,97	0,0688
	MEP	13,71 \pm 0,06	15,62 \pm 1,27	15,01 \pm 1,87	14,78 \pm0,98	
	AEP	9,99 \pm 0,29	11,18 \pm 1,14	13,76 \pm 0,07	11,64 \pm1,93	
CVC _f (%)	BEP	3,84 \pm 0,13	3,67 \pm 0,45	3,41 \pm 0,27	3,64 \pm0,22	0,3363
	MEP	4,07 \pm 1,48	3,46 \pm 0,57	4,43 \pm 0,80	3,99 \pm0,50	
	AEP	3,44 \pm 0,38	3,70 \pm 0,81	3,65 \pm 0,40	3,60 \pm0,14	
CAA	BEP	1,92 \pm 0,02	1,94 \pm 0,03	1,93 \pm 0,07	1,93 \pm0,01^a	0,0348
	MEP	1,86 \pm 0,00	1,75 \pm 0,02	1,88 \pm 0,02	1,83 \pm0,07^{ab}	
	AEP	1,81 \pm 0,04	1,84 \pm 0,01	1,82 \pm 0,16	1,82 \pm0,02^b	
TCE (% dia ⁻¹)	BEP	1,50 \pm 0,04	1,68 \pm 0,00	1,51 \pm 0,00	1,56 \pm0,10	0,6452
	MEP	1,59 \pm 0,02	1,79 \pm 0,00	1,57 \pm 0,00	1,65 \pm0,12	
	AEP	1,63 \pm 0,00	1,50 \pm 0,00	1,74 \pm 0,02	1,62 \pm0,12	

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

(¹): P_i = Peso Inicial; P_f = Peso Final; GP = Ganho de Peso; CVP_i = Coeficiente de Variação de Peso Inicial; CVP_f = Coeficiente de Variação de Peso Final; C_i = Comprimento Inicial; C_f = Comprimento Final; GC = Ganho de Comprimento; CVC_i = Coeficiente de Variação de Comprimento Inicial; CVC_f = Coeficiente de Variação de Comprimento Final; CAA = Conversão Alimentar Aparente; TCE = Taxa de Crescimento Específico.

(²): BEP = Baixa Eficiência Produtiva; MEP = Média Eficiência Produtiva; AEP = Alta Eficiência Produtiva.

(³): Médias \pm desvio-padrão com letras iguais na mesma coluna para o mesmo indicador não diferem significativamente ($p > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

Constata-se também diferenças ($p < 0,05$) para o ganho médio de comprimento (GC) de *MEP* ($45,43 \pm 0,40$ cm) em relação à *BEP* ($43,97 \pm 0,68$ cm) e *AEP* ($43,16 \pm 0,48$ cm), e para conversão alimentar aparente (CAA), com pior desempenho de *BEP* ($1,93 \pm 0,01$), e melhor de *AEP* ($1,82 \pm 0,02$).

A taxa de crescimento específico (TCE) demonstrou-se superior em *MEP*, com $1,65 \pm 0,12\%$ para índices gerais, apesar de não haver diferença significativa ($p > 0,05$) entre os modelos. Cabe observar ainda o coeficiente de variação inicial de peso (CVP_i) acima de $25,0\%$ para todos os níveis de eficiência analisados e o coeficiente de variação final de peso (CVP_f) apresentando redução, com valores abaixo de $15,0\%$ nas diferentes estratégias.

3.4. RELAÇÃO PESO-COMPRIMENTO

Os valores para o coeficiente de crescimento inicial (a) nas pisciculturas avaliadas variaram entre $0,0108 \pm 0,0005$ (P_{AEP} 03) e $0,0187 \pm 0,0003$ (P_{BEP} 02). Pelos resultados médios, os índices de a para *BEP* ($0,0182 \pm 0,0007$) e *MEP* ($0,0178 \pm 0,0004$), com maiores valores, diferiram ($p < 0,05$) sobre *AEP* ($0,0137 \pm 0,0025$), com menor valor (Tabela 04).

Tabela 04. Equação de potência e logarítmica da relação peso-comprimento, coeficiente de determinação e tipo de crescimento do tambaqui (*Colossoma macropomum*) cultivado em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.

Modelo		Item ³			Equação			Forma de
Tipo ¹	Pisciculturas ²	<i>a</i>	<i>b</i>	R ²	<i>k_n</i>	Exponencial	Logarítmica	Crescimento ⁴
Individual								
	<i>P_{BEP}</i> -01	0,0174 ±0,0016	3,0451 ±0,0238	0,9979 ±0,0005	1,0008 ±0,0000	$W_t = 0,0174L_t^{3,0451}$	$\ln W = -1,7589 + 3,0451 \ln L$	<i>ALO+</i> (<i>b</i> ≠ 3,0)
<i>BEP</i>	<i>P_{BEP}</i> -02	0,0187 ±0,0003	3,0096 ±0,0026	0,9967 ±0,0003	1,0016 ±0,0002	$W_t = 0,0187L_t^{3,0096}$	$\ln W = -1,7274 + 3,0096 \ln L$	<i>ALO+</i> (<i>b</i> ≠ 3,0)
	<i>P_{BEP}</i> -03	0,0184 ±0,0004	3,0094 ±0,0035	0,9949 ±0,0025	1,0011 ±0,0006	$W_t = 0,0184L_t^{3,0094}$	$\ln W = -1,7355 + 3,0094 \ln L$	<i>ALO+</i> (<i>b</i> ≠ 3,0)
	<i>P_{MEP}</i> -01	0,0174 ±0,0008	3,0350 ±0,0106	0,9984 ±0,0006	1,0008 ±0,0002	$W_t = 0,0174L_t^{3,0350}$	$\ln W = -1,7596 + 3,0350 \ln L$	<i>ALO+</i> (<i>b</i> ≠ 3,0)
<i>MEP</i>	<i>P_{MEP}</i> -02	0,0181 ±0,0001	3,0228 ±0,0013	0,9979 ±0,0011	1,0007 ±0,0001	$W_t = 0,0181L_t^{3,0228}$	$\ln W = -1,7423 + 3,0228 \ln L$	<i>ALO+</i> (<i>b</i> ≠ 3,0)
	<i>P_{MEP}</i> -03	0,0179 ±0,0003	3,0315 ±0,0017	0,9977 ±0,0009	1,0009 ±0,0001	$W_t = 0,0179L_t^{3,0315}$	$\ln W = -1,7482 + 3,0315 \ln L$	<i>ALO+</i> (<i>b</i> ≠ 3,0)
	<i>P_{AEP}</i> -01	0,0152 ±0,0016	3,0626 ±0,0272	0,9923 ±0,0008	1,0013 ±0,0000	$W_t = 0,0152L_t^{3,0626}$	$\ln W = -1,8190 + 3,0626 \ln L$	<i>ALO+</i> (<i>b</i> ≠ 3,0)
<i>AEP</i>	<i>P_{AEP}</i> -02	0,0152 ±0,0003	3,0810 ±0,0089	0,9975 ±0,0010	1,0007 ±0,0003	$W_t = 0,0152L_t^{3,0810}$	$\ln W = -1,8182 + 3,0810 \ln L$	<i>ALO+</i> (<i>b</i> ≠ 3,0)
	<i>P_{AEP}</i> -03	0,0108 ±0,0005	3,1769 ±0,0047	0,9966 ±0,0006	1,0011 ±0,0000	$W_t = 0,0108L_t^{3,1769}$	$\ln W = -1,9675 + 3,1769 \ln L$	<i>ALO+</i> (<i>b</i> ≠ 3,0)
Geral⁵								
	<i>BEP</i>	0,0182 ±0,0007^a	3,0214 ±0,0206	0,9965 ±0,0015	1,0012 ±0,0004	$W_t = 0,0182L_t^{3,0214}$	$\ln W = -1,7404 + 3,0214 \ln L$	<i>ALO+</i> (<i>b</i> ≠ 3,0)
	<i>MEP</i>	0,0178 ±0,0004^a	3,0297 ±0,0063	0,9980 ±0,0004	1,0008 ±0,0001	$W_t = 0,0178L_t^{3,0297}$	$\ln W = -1,7500 + 3,0297 \ln L$	<i>ALO+</i> (<i>b</i> ≠ 3,0)
	<i>AEP</i>	0,0137 ±0,0025^b	3,1069 ±0,0614	0,9954 ±0,0028	1,0010 ±0,0003	$W_t = 0,0137L_t^{3,1069}$	$\ln W = -1,8628 + 3,1069 \ln L$	<i>ALO+</i> (<i>b</i> ≠ 3,0)
	<i>p</i> -valor	0,0216	0,0585	0,3158	0,3938	-	-	-

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

(¹): *BEP* = Baixa Eficiência Produtiva; *MEP* = Média Eficiência Produtiva; *AEP* = Alta Eficiência Produtiva.

(²): *P_{BEP}* = Piscicultura de Baixa Eficiência Produtiva; *P_{MEP}* = Piscicultura de Média Eficiência Produtiva; *P_{AEP}* = Piscicultura de Alta Eficiência Produtiva.

(³): *a* = Coeficiente de crescimento inicial (intercepto); *b* = Constante relacionada à forma de crescimento do peixe (inclinação); R² = Coeficiente de determinação da relação peso-comprimento; *k_n* = Fator de condição alométrica.

(⁴): *ALO+* = Alometria Positiva (incremento em peso); *ALO-* = Alometria Negativa (incremento em comprimento); *ISO* = Isométrico (incremento proporcional).

(⁵): Médias ± desvio-padrão com letras iguais na mesma coluna para o mesmo indicador não diferem significativamente (*p*>0,05) entre si pelo teste de Tukey.

Resultados dos coeficientes angulares (b) do tambaqui variaram de $3,0094 \pm 0,0035$ a $3,1769 \pm 0,0047$ entre todos os sistemas avaliados. Menores valores para b foram constatados em *BEP*, com $3,0214 \pm 0,0206$. No entanto, todos os modelos produtivos indicaram alometria positiva no crescimento ($b > 3$), inferindo ganho de peso e incremento na biomassa dos animais.

As equações da relação peso-comprimento, se ajustaram bem ($R^2 > 0,90$) a partir dos resultados médios de eficiência, demonstrando alta correlação positiva entre os parâmetros de peso e comprimento. O comportamento das curvas produzidas pelas formas de expressão pode ser observado na Figura 02.

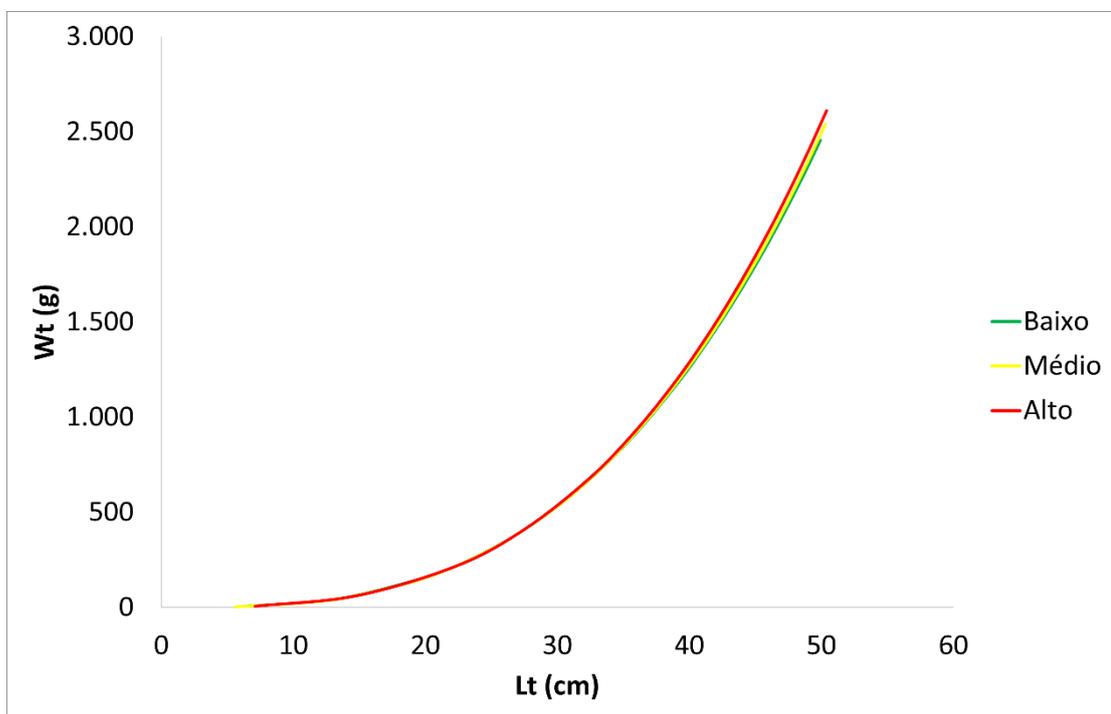


Figura 02. Relação peso-comprimento do cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Os valores do Fator de Condição Relativo (k_n) nas pisciculturas avaliadas indicam média de $k_n > 1,0$, sugerindo boas condições de crescimento ou de “bem-estar” dos peixes em ambiente de cultivo ao longo de todo o período produtivo, demonstrando que mesmo em sistemas com densidade de estocagem elevada, este parâmetro não foi prejudicado (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).

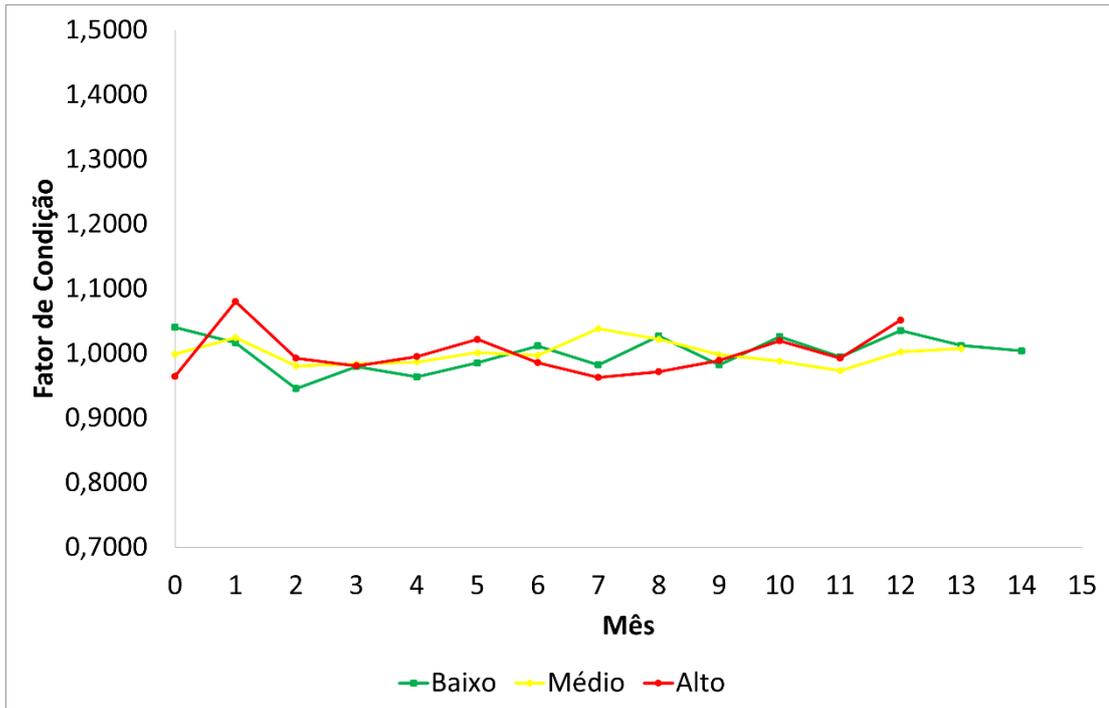


Figura 03. Fator de Condição Relativo (k_n) do tambaqui (*Colossoma macropomum*) no período de cultivo em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central. Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Índices de k_n flutuaram entre $1,0008 \pm 0,0001$ (*MEP*) e $1,0012 \pm 0,0004$ (*BEP*), sendo os melhores valores individuais observados em $P_{BEP} 02$ ($1,0016 \pm 0,0002$). Pisciculturas de *AEP* apresentaram resultados médio considerado adequado ($1,0010 \pm 0,0003$), apesar de piores resultados individuais terem sido verificados neste sistema ($P_{AEP} 02 = 1,0007 \pm 0,0003$).

3.5. CURVA DE CRESCIMENTO

A equação de crescimento de von Bertalanffy (1938) forneceu o melhor ajuste para todos os sistemas produtivos do tambaqui em ambiente de cultivo, com resultados de coeficiente de determinação elevados ($R^2 > 0,90$) tanto para os empreendimentos individualmente, quanto entre as médias dos modelos de eficiências verificados (Tabela 05).

Tabela 05. Parâmetros da equação de crescimento do tambaqui (*Colossoma macropomum*) cultivado em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.

Fator	Item ¹	Tipo ²	Empreendimento			Geral ³	p-valor	
			Piscicultura 01	Piscicultura 02	Piscicultura 03			
Peso	W_{∞}	BEP	6.068,08 ±1.543,56	5.450,73 ±330,22	4.529,69 ±1.278,46	5.349,50 ±774,18^a	0,0015	
		MEP	6.036,69 ±324,22	6.514,88 ±259,06	5.963,03 ±220,17	6.171,53 ±299,62^a		
		AEP	3.302,89 ±87,20	3.432,10 ±142,79	3.700,89 ±621,16	3.478,63 ±203,04^b		
	W^*	BEP	1.804,97 ±455,35	1.616,50 ±98,33	1.343,26 ±378,70	1.588,24 ±232,15^a	0,0016	
		MEP	1.794,43 ±94,63	1.934,45 ±76,68	1.772,01 ±65,15	1.833,63 ±88,03^a		
		AEP	984,31 ±28,39	1.024,45 ±41,82	1.113,67 ±186,50	1.040,81 ±66,21^b		
	K	BEP	0,0968 ±0,0112	0,0989 ±0,0043	0,1161 ±0,0198	0,1040 ±0,0106^b	0,0005	
		MEP	0,1022 ±0,0054	0,1046 ±0,0004	0,1008 ±0,0008	0,1026 ±0,0019^b		
		AEP	0,2140 ±0,0056	0,1809 ±0,0069	0,1698 ±0,0345	0,1883 ±0,0230^a		
	B	BEP	3,0451 ±0,0238	3,0096 ±0,0026	3,0094 ±0,0035	3,0214 ±0,0206	0,0585	
		MEP	3,0350 ±0,0106	3,0228 ±0,0013	3,0315 ±0,0017	3,0297 ±0,0063		
		AEP	3,0626 ±0,0272	3,0810 ±0,0089	3,1769 ±0,0047	3,1069 ±0,0614		
	t_0	BEP	1,0218 ±0,0721	0,5873 ±0,0258	0,9980 ±0,1146	0,8690 ±0,2443	0,5525	
		MEP	0,7772 ±0,0810	0,4981 ±0,0448	0,8529 ±0,0841	0,7094 ±0,1869		
		AEP	0,6872 ±0,0409	0,8442 ±0,0471	0,6480 ±0,0731	0,7264 ±0,1038		
	t^*	BEP	10,55 ±1,19	10,57 ±0,52	8,63 ±1,52	9,91 ±1,11^a	0,0007	
		MEP	10,10 ±0,46	10,07 ±0,08	10,15 ±0,01	10,11 ±0,04^a		
		AEP	4,54 ±0,05	5,38 ±0,18	6,30 ±1,33	5,41 ±0,88^b		
	R ²	BEP	0,9951 ±0,0036	0,9987 ±0,0007	0,9980 ±0,0017	0,9973 ±0,0019	0,3769	
		MEP	0,9985 ±0,0010	0,9969 ±0,0007	0,9977 ±0,0008	0,9977 ±0,0008		
		AEP	0,9948 ±0,0021	0,9940 ±0,0016	0,9982 ±0,0004	0,9957 ±0,0022		
	Comprimento	L_{∞}	BEP	65,90 ±5,79	65,37 ±1,41	61,61 ±5,67	64,29 ±2,34^a	0,0002
			MEP	66,92 ±1,20	68,88 ±0,89	66,39 ±0,58	67,39 ±1,31^a	
			AEP	55,37 ±0,37	54,66 ±0,99	55,19 ±2,44	55,07 ±0,37^b	
L^*		BEP	44,25 ±3,72	43,65 ±0,96	41,13 ±3,76	43,01 ±1,65^a	0,0003	
		MEP	44,87 ±0,73	46,09 ±0,59	44,49 ±0,38	45,15 ±0,84^a		
		AEP	37,29 ±0,41	36,92 ±0,62	37,82 ±1,65	37,34 ±0,45^b		
R ²		BEP	0,9975 ±0,0010	0,9971 ±0,0001	0,9966 ±0,0002	0,9971 ±0,0005	0,9160	
		MEP	0,9978 ±0,0001	0,9942 ±0,0008	0,9977 ±0,0002	0,9966 ±0,0021		
		AEP	0,9982 ±0,0006	0,9959 ±0,0015	0,9961 ±0,0019	0,9967 ±0,0013		

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

(¹): W_{∞} = Valor assintótico de peso em gramas; W^* = Ponto de estabilização do peso em gramas; K = Índice de maturidade do peixe; B = Ponto de inflexão; t_0 = Correção do peso do animal ao nascer em meses; t^* = tempo na inflexão em meses; L_{∞} = Valor assintótico de comprimento em centímetros; L^* = Ponto de estabilização do comprimento em centímetros; R² = Coeficiente de determinação.

(²): BEP = Baixa Eficiência Produtiva; MEP = Média Eficiência Produtiva; AEP = Alta Eficiência Produtiva.

(³): Médias ± desvio-padrão com letras iguais na mesma coluna para o mesmo indicador não diferem significativamente ($p > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

Os parâmetros gerais de peso assintótico (W_{∞}), ponto de estabilização de peso (W^*) e comprimento (L^*), índice de maturidade (K), tempo de inflexão (t^*) e comprimento assintótico (L_{∞}) indicam diferenças significativa ($p < 0,05$) entre os crescimentos nos sistemas de cultivo de BEP e MEP em relação a AEP, constatados pelas projeções ajustadas no modelo de Bertalanffy (1938) e taxas de crescimento para peso (TCI_w) e comprimento (TCI_l), conforme observado na Figura 04.

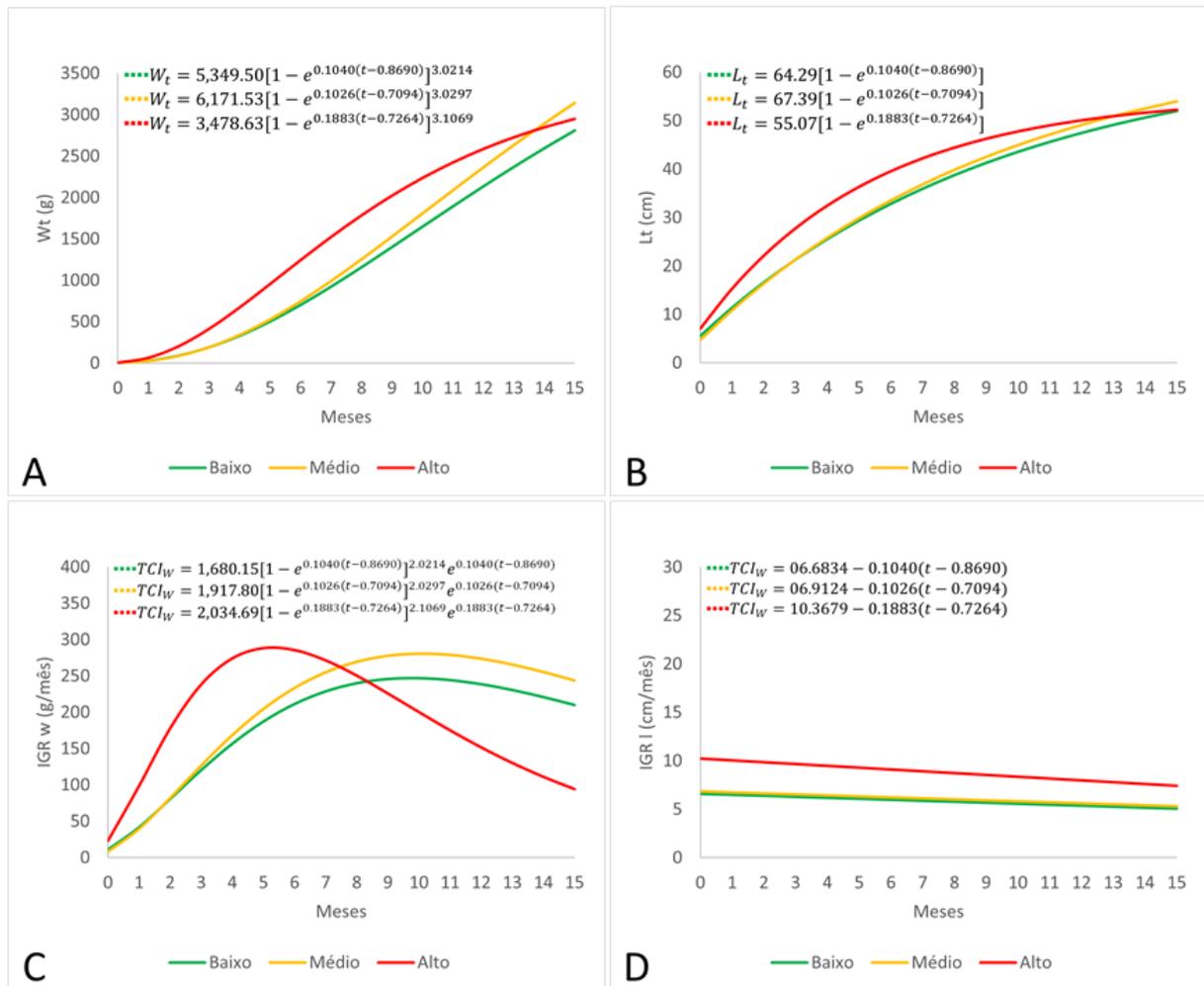


Figura 04. Curvas de crescimento de von Bertalanffy (A e B) e Taxa de Crescimento Instantânea (TCI) (C e D) em função do tempo para peso (W_t) e comprimento (L_t) médios, ajustada para cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Os resultados das curvas de peso (Figura 04 A) demonstraram crescimento lento na fase inicial para todos as estratégias produtivas, seguida de auto aceleração e crescimento acentuado até o ponto de inflexão, e posteriormente, desaceleração até o tamanho crítico (máximo), como descrito por Weatherley & Gill (1987).

Todos os modelos de peso apresentaram comportamento do tipo sigmoidal, porém, distinto nas estratégias de crescimento. Somente a curva de AEP apresentou tendência de estabilização na fase de transição ($t^* = 5,41 \pm 0,8$ meses; $W^* = 1.040,81 \pm 66,21$ g). Variações divergentes nas curvas de BEP e MEP, menos eficientes, indicam maior período para se alcançar o peso na fase adulta dos animais, confirmados pelos valores altos de W_∞ observados.

As curvas de comprimento (Figura 04 B) também revelaram diferenças no desempenho pelos índices de L_{∞} e K entre os sistemas de cultivo de *BEP* e *MEP* em relação a *AEP*, sugerindo que as estratégias de produção adotadas alteram a maneira como os peixes crescem.

Ao se analisar a TCI para peso e comprimento (Figura 04 C e D), se reforçam as relações entre os modelos e formas de cultivo adotadas. Os peixes de *AEP* apresentaram maiores taxas de desenvolvimento corporal até o quarto mês ($TCI_w \approx 280,0 \text{ g mês}^{-1}$; $TCI_l \approx 9,5 \text{ cm mês}^{-1}$), mostrando, portanto, maior velocidade no desempenho em relação à *BEP* e *MEP*, mais acentuados até o oitavo ($TCI_w \approx 240,0 \text{ g mês}^{-1}$; $TCI_l \approx 5,5 \text{ cm mês}^{-1}$) e nono ($TCI_w \approx 270,0 \text{ g mês}^{-1}$; $TCI_l \approx 6,0 \text{ cm mês}^{-1}$) mês, respectivamente, porém em menores índices relativos no período de avaliação.

4. DISCUSSÃO

4.1. DESEMPENHO PRODUTIVO

Os resultados do estudo mostram a influência dos modelos produtivos utilizados sobre as respostas zootécnicas do tambaqui. Observa-se que maiores densidades produziram maiores biomassas, resultando em maximização da produção (BRANDÃO *et al.*, 2004; GOMES *et al.*, 2006; GONDWE *et al.*, 2011; BARROS & MARTINS, 2012; INOUE *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2014; SOUSA *et al.*, 2016a; BOYD *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2021b; SILVA *et al.*, 2021; ANANIAS *et al.*, 2024; MONTELO *et al.*, 2024; PETILLO *et al.*, 2025).

O tempo de cultivo variou dentro de padrões descritos para o tambaqui “roelo” (CAVERO *et al.*, 2009; MELLO *et al.*, 2015; PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; COSTA *et al.*, 2018a; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020). Costa *et al.* (2020) verificaram tempo médio entre 348 ± 38 dias para os animais alcançarem peso de 2,09 kg em diferentes densidades, período próximo aos deste estudo.

Para Craveiro *et al.* (2024), melhores estratégias que envolvam variação no tempo de alevinagem pode reduzir o período de cultivo e favorecer a sua otimização, ocasionando maiores produtividades e lucratividade. Recomenda-se, portanto, que a redução do período de produção anual seja uma alternativa ao maior investimento tecnológico ou à expansão da área alagada para aumento da lucratividade, que por seus altos custos de implementação, pode inviabilizar a atividade para pequenos produtores (PANTOJA-LIMA *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2020).

A produtividade foi considerada elevada para empreendimentos de *AEP* e *MEP*, estando acima do que é constatado para a espécie em sistemas produtivos na região (COSTA *et al.*, 2018a; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020). Costa *et al.* (2020) observaram valores de 6,68 t ha⁻¹ ano, sendo aceitável para o tambaqui, que pode chegar facilmente a 18,5 t ha⁻¹ ano com incrementos tecnológicos, como o uso de aeradores, (IZEL *et al.*, 2013; PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; COSTA *et al.*, 2020; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020), dimensionamento e adequado manejo dos viveiros (CREPALDI *et al.*, 2006; CAVERO *et al.*, 2009; GOMES & SILVA, 2009; IZEL *et al.*, 2013; BARÇANTE & SOUZA, 2015; LIMA *et al.*, 2020).

De acordo com Ananias *et al.* (2024), apesar do aumento do adensamento comprometer o crescimento e conduzir a maiores mortalidades, esta estratégia se justifica pela maior produtividade, o que infere positivamente na viabilidade econômica da atividade (CREPALDI *et al.*, 2006; SOUSA *et al.*, 2016a; MONTELO *et al.*, 2024; PETILLO *et al.*, 2025). Desempenho de *MEP* e *AEP* podem refletir, portanto, retornos econômicos superiores, já que embora haja maiores gastos energéticos com aeração, estes são diluídos nos custos de produção pela maior oferta de biomassa (KUMAR *et al.*, 2013; IZEL *et al.*, 2013; DANTAS-FILHO, 2017; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; ROY *et al.*, 2021; MONTELO *et al.*, 2024).

Quanto às baixas mortalidades verificadas para o tambaqui (< 1%) nos resultados, estas podem ser atribuídas ao bom controle do manejo produtivo pelos piscicultores (COSTA *et al.*, 2016), onde melhores índices de sobrevivência são reportados ao final do cultivo, mesmo com maiores densidades (INOUE *et al.*, 2014; COSTA *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2021b; FARIAS *et al.*, 2021; ANANIAS *et al.*, 2024; PETILLO *et al.*, 2025), o que pode refletir a alta capacidade adaptação da espécie, sendo um fator favorável ao seu cultivo (BARÇANTE & SOUZA, 2015; VAL & OLIVEIRA, 2021; ANANIAS *et al.*, 2024).

4.2. QUALIDADE DE ÁGUA

Valores de O₂ permanecem dentro da faixa de conforto (3,0 – 1,0 mg L⁻¹) para o tambaqui (SAINT-PAUL, 1984; OSTRENSKY *et al.*, 1998; MELO *et al.*, 2001; CAVERO *et al.*, 2009; MORAIS & O’SULLIVAN, 2017; IZEL-SILVA *et al.*, 2020), não sendo identificadas concentrações médias abaixo de 3,0 mg L⁻¹ em empreendimentos de *MEP* e *AEP*, indicando boa suplementação de oxigênio (aeração) com adensamentos maiores dos tanques (BOYD, 1998; OLIVEIRA *et al.*, 2007; IZEL *et al.*, 2013; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; CONDE *et al.*, 2021). O pH apresentou variação entre os limites indicados para a espécie (WOOD *et al.*, 1998; IZEL & MELO, 2004; CAVERO *et al.*, 2009; AZEVEDO & AIUB, 2012; GODOI *et al.*, 2012; WOOD *et al.*, 2018; VAL & OLIVEIRA, 2021), porém, de modo geral, se manteve

em condições mais ácidas (6,0 – 7,0), como recomendado por Aride *et al.* (2004; 2007), que sugerem que o melhor crescimento do tambaqui ocorre em ambientes menos alcalinos.

A temperatura da água ficou em índices aceitáveis (26,0 – 32,0 °C) ao tambaqui em ambientes confinados (CAVERO *et al.*, 2009; AZEVEDO & AIUB, 2012; GODOI *et al.*, 2012; MORAIS & O’SULLIVAN, 2017; CONDE *et al.*, 2021; VAL & OLIVEIRA, 2021). A condutividade elétrica também permaneceu em limites adequados (20 – 100 $\mu\text{S cm}^{-1}$), não havendo aumento em *MEP* e *AEP*, indicando pouca ocorrência de matéria orgânica na água ou acúmulo de íons no ambiente, causados pela maior excreta dos peixes em tanques mais adensados (SILVA *et al.*, 2013; MEDEIROS-JÚNIOR *et al.*, 2018; FARIAS *et al.*, 2021).

Índices de transparência, considerados adequados, demonstraram controle de manejo dos tanques com calagem e adubação corretas (CAVERO *et al.*, 2009; LEIRA *et al.*, 2017; VERMA *et al.*, 2022). Pisciculturas de *MEP* e *AEP* sugerem, no entanto, maiores alterações na turbidez, condições previstas pela maior oferta de ração e geração de dejetos, ocorrência de “bloom” de fitoplanctons e suspensão de partículas sólidas na água pelo aumento da densidade (GOMES & SILVA, 2009; LEIRA *et al.*, 2017; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; LADISLAU *et al.*, 2020; CONDE *et al.*, 2021; LEAL *et al.*, 2023).

Concentrações de NH_3 se mantiveram acima do tolerável para o tambaqui (0,5 mg L^{-1}) (SOUZA-BASTOS *et al.*, 2017), porém, não aumentaram com o aumento da biomassa e excreção dos peixes, como esperado em sistemas mais intensivos (HARGREAVES, 1998; ISMIÑO-ORBE *et al.*, 2003; PEREIRA & MERCANTE, 2005; CYRINO *et al.*, 2010; FREITAS *et al.*, 2014; COSTA *et al.*, 2018b; HURTADO *et al.*, 2018; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; ANANIAS *et al.*, 2024). Apesar dos valores médios elevados de NH_3 em pisciculturas de *MEP* e *AEP*, estes se ficaram abaixo de *BEP*, indicando pouca influência da densidade e aeração sobre o aumento deste composto (ZHU *et al.*, 2020), possivelmente, pelo uso de probiótico na decomposição de matéria orgânica de fundo e processo de nitrificação (BOYD & GROSS, 1998; VERSCHUERE *et al.*, 2000; PADMAVATHI *et al.*, 2012; MOHAPATRA *et al.*, 2013; DAS, 2017; LOH, 2017; DAWOOD *et al.*, 2019; HLORDZI *et al.*, 2020; NAYAK, 2020; EL-SAADONY *et al.*, 2021; JAMES *et al.*, 2021; LI *et al.*, 2022), além do maior controle no fornecimento e melhor qualidade do alimento (ISMIÑO-ORBE *et al.*, 2003; HARGREAVES & TUCKER, 2004; QUEIROZ & BOEIRA, 2007; CYRINO *et al.*, 2010; OISHI *et al.*, 2010; FREITAS *et al.*, 2014; SOUSA *et al.*, 2016b; OLIVEIRA & SOUZA, 2017; AMANCIO *et al.*, 2019).

Os valores de N-NO_2^- ficaram abaixo de $1,00 \text{ mg L}^{-1}$ nas pisciculturas, como estabelecido na legislação (CONAMA, 2005), e inferiores a $0,10 \text{ mg L}^{-1}$, que é o recomendado para evitar efeitos fisiológicos deletérios deste composto no tambaqui, como a redução do crescimento e resistência desses animais a doenças (LEIRA *et al.*, 2017; VERMA *et al.*, 2022; ZHANG *et al.*, 2024). Para o N-NO_3^- , variações não superiores a $10,0 \text{ mg L}^{-1}$ foram observadas em todas as pisciculturas avaliadas, também em atendimento ao disposto na Resolução CONAMA N° 357/2005.

Assim como o nitrogênio, P e SST são importantes indicadores de eutrofização da água do ambiente produtivo e de descarte (efluentes), sendo sensíveis à maior entrada de alimentação e fertilização (LIN & YI, 2003; PEREIRA & MERCANTE, 2005; QUEIROZ & SILVEIRA, 2006; BOYD *et al.*, 2007; GOMES & SILVA, 2009; CYRINO *et al.*, 2010; FREITAS *et al.*, 2014; BUENO *et al.*, 2017; HURTADO *et al.*, 2018; BOYD *et al.*, 2020; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; CONDE *et al.*, 2021). Os resultados mostram incremento destes indicadores na água nas pisciculturas de *MEP* e *AEP*, porém, para o P, se encontra acima dos limites de $0,03 \text{ mg L}^{-1}$ fixados na legislação (CONAMA, 2005), pela influência do acúmulo de ração, rica neste nutriente (CONDE *et al.*, 2021).

4.3. DESEMPENHO ZOOTÉCNICO

Obteve-se valores de P_f adequados ao cultivo comercial do tambaqui (IZEL *et al.*, 2013; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020), com diferença ($p < 0,05$) entre *BEP* e *AEP* sugerindo maior especialidade e otimização na produção intensiva para atender às exigências de mercado da espécie (BARROS & MARTINS, 2012; PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; CRAVEIRO *et al.*, 2024). A maior incorporação de massa no GP também indicou melhor aproveitamento de alimento em altas densidades (PEREIRA-JÚNIOR *et al.*, 2013; ROA *et al.*, 2019; PETILLO *et al.*, 2025), demonstrando ainda a pouca influência do estresse gerado pela maior demanda de oxigênio nesses modelos produtivos (OLIVEIRA *et al.*, 2007; SANTOS & OBA, 2009; BARROS & MARTINS, 2012; SILVA & FUJIMOTO, 2015; SOUSA *et al.*, 2016a; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; SANTOS *et al.*, 2021a; 2021b; SILVA *et al.*, 2021; ANANIAS *et al.*, 2024; MONTELO *et al.*, 2024; BOYD *et al.*, 2025).

Investimento em alevinos de melhor qualidade genética pode também ter contribuído para produzir melhores resultados de peso nas pisciculturas (CAMPOS *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2023). Estudos sobre famílias selecionadas e melhoradas do tambaqui, indicaram incrementando de 24,8% até 27,3% em peso corporal médio da espécie (MARCOS *et al.*, 2016; MARCOS *et al.*, 2020). De acordo com Silva *et al.* (2020), o melhoramento genético é uma estratégia que favorece ainda a diminuição do custo de produção e viabilidade na atividade.

Quanto ao C_f e GC, observa-se um maior incremento médio em comprimento em relação ao peso dos peixes de MEP, os quais podem ser explicados pelas piores respostas dos animais ao manejo alimentar na deposição de massa em comparação à AEP (OLIVEIRA & SOUZA, 2017). Influências genéticas também podem ter contribuído para o diferente acúmulo de massa corporal dos peixes cultivados, já que características morfométricas herdadas geneticamente podem determinar a forma do corpo dos animais (SILVA *et al.*, 2020a).

O CVP_i apresentou grande amplitude entre os modelos (29,34 – 33,13%), porém, foi reduzido ao final da produção (11,00 – 11,45%). Farias *et al.* (2021) observaram CV de peso inicial semelhante em cultivo de tambaqui em diferentes densidades (40,20%), com igual comportamento de redução do CV de peso final (8,73 – 15,31%).

Menores CV são considerados ideais na piscicultura (CAVEIRO *et al.*, 2009), visto que representam maior homogeneidade da população de cultivo, contribuindo para a facilidade na negociação e comercialização do pescado. Os resultados de CVP_f sem diferenças ($p > 0,05$) entre as estratégias, demonstram, portanto, lotes igualmente padronizados, favorecendo melhores condições de venda (GOMES *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2021a; PETILLO *et al.*, 2025).

Valores de CAA se encontram próximos a outros estudos realizados para o tambaqui em condições de cultivo em terra firme (CAVERO *et al.*, 2009; GOMES & SILVA, 2009; PASQUIER *et al.*, 2011; IZEL *et al.*, 2013; COSTA *et al.*, 2016; PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; NETO *et al.*, 2017; OLIVEIRA & SOUZA, 2017; SOUSA *et al.*, 2017; SOUZA *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2018a; COSTA *et al.*, 2020; LEAL *et al.*, 2020; FARIAS *et al.*, 2021). Farias *et al.* (2021), por exemplo, reportaram CAA entre $1,52 \pm 0,089$ e $1,73 \pm 0,053$ para diferentes densidades, sendo os melhores resultados constatados em tanques com maiores adensamentos. Já Costa *et al.* (2018), chegaram ao resultado médio de $2,04 \pm 0,41$ (1,31 – 2,57) ao testarem a produtividade do tambaqui em diferentes escalas de produção, sugerindo que piores desempenhos são influenciados por maiores densidades.

Para Costa *et al.* (2016) e Farias *et al.* (2021), a CAA está relacionada ao bom uso do alimento e explica o maior controle do manejo na otimização do seu aproveitamento em pisciculturas com alta densidade, o que contribui também com o aumento da rentabilidade (IZEL & MELO, 2004; OLIVEIRA & SOUZA, 2017), já que a ração pode refletir mais de 60% do custo de produção (IZEL & MELO, 2004; GOMES *et al.*, 2006; PEREIRA-JÚNIOR *et al.*, 2013; VILELA *et al.*, 2013; PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; BARONE *et al.*, 2017; BELCHIOR & DALCHIAVON, 2017; COSTA *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2018a; FEITOZA *et al.*, 2018; VIEIRA, 2018; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; BOTELHO *et al.*, 2022).

Apesar da piora esperada em ambientes de maior densidade (GOMES *et al.*, 2006; GARCIA *et al.*, 2013; AZEVEDO *et al.*, 2016; COSTA *et al.*, 2018a; SANTOS *et al.*, 2021b; MONTELO *et al.*, 2024), melhores performances de CAA são verificados em AEP. Os resultados podem ser justificados, no entanto, pelas estratégias mais adequadas no uso de tecnologias e controle produtivo nas pisciculturas mais eficientes, como a aplicação de probióticos (BOYD & GROSS, 1998; IRIANTO & AUSTIN, 2002; OBA *et al.*, 2011; AZEVEDO *et al.*, 2016; VIEIRA & PEREIRA, 2016; ABRAR *et al.*, 2019; DAWOOD *et al.*, 2019; BOYD *et al.*, 2020; NAYAK, 2020; EL-SAADONY *et al.*, 2021; SANTOS *et al.*, 2021b; VERÔNICA *et al.*, 2021), adoção de maiores teores de proteína e qualidade nas rações (NUNES *et al.*, 2006; SANTOS & OBA, 2009; ABIMORAD & CASTELLANI, 2011; RODRIGUES, 2014; SILVA & FUJIMOTO, 2015; SOUSA *et al.*, 2016b; COSTA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2020b; XU *et al.*, 2024) e arraçoamentos com menores desperdícios (CHAGAS *et al.*, 2005; 2007; SILVA *et al.*, 2007; ABIMORAD & CASTELLANI, 2011; RODRIGUES, 2014; SILVA & FUJIMOTO, 2015; OLIVEIRA & SOUZA, 2017; SANTOS *et al.*, 2018; PORTO *et al.*, 2020; FARIAS *et al.*, 2021; RODRIGUES *et al.*, 2024).

Valores de TCE se apresentaram abaixo do esperado ($1,56 \pm 0,10$ a $1,65 \pm 0,12$) em comparação a outros estudos para o tambaqui com períodos semelhantes (PASQUIER *et al.*, 2011; COSTA *et al.*, 2018a). Costa *et al.* (2018), em trabalho sobre performance no cultivo da espécie em tanques escavados, identificaram índices de TCE de 1,94% a 2,37% em períodos de 360 a 435 dias. Já Gomes & Silva (2009) registraram variações entre 1,34% e 1,43%, em cultivo de tambaqui com diferentes estratégias de calagem e fertilização por um período de 210 dias, valores considerados inferiores aos deste estudo.

A TCE é um índice zootécnico que reage inversamente ao aumento da densidade (SILVA & FUJIMOTO, 2015; SANTOS *et al.*, 2021b; SILVA *et al.*, 2021; ANANIAS *et al.*, 2024; MONTELO *et al.*, 2024). Porém, assim como na CAA, os resultados parecem ser influenciados positivamente pelas estratégias de produção mais eficientes, não sendo verificado efeito ($p>0,05$) do adensamento dos animais sobre este parâmetro (GOMES *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2013; INOUE *et al.*, 2014; FARIAS *et al.*, 2021; PETILLO *et al.*, 2025).

4.4. RELAÇÃO PESO-COMPIMENTO

Os resultados das curvas na interação entre peso e comprimento obedecem ao modelo logarítmico e demonstram ótima correlação ($R^2 > 0,90$) entre os dois parâmetros corporais estimado para o tambaqui, indicando boa qualidade de previsão dos índices de crescimento da espécie (SHERUBINI, 1982; PETRERE-JR, 1983; ISAAC & RUFFINO, 1996; SOUZA *et al.*, 1998; VIEIRA *et al.*, 1999; VILLACORTA-CORREA & SAINT-PAUL, 1999; SOUZA *et al.*, 2000; ISAAC & RUFFINO, 2004; PASQUIER *et al.*, 2011; SOUZA *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2014; CAMPOS *et al.*, 2015; SOUSA *et al.*, 2016b; OLIVEIRA & SOUZA, 2017; ROSA *et al.*, 2018).

Constata-se que os valores de a e b não diferem significativa ($p>0,05$) entre as diferentes estratégias de produção, indicando que efeitos negativos relacionados à intensificação, como a eutrofização da água de cultivo (MACEDO & SIPAÚBA-TAVARES, 2010), não são fatores restritivos ao crescimento dos animais (SOUZA *et al.*, 2000).

De fato, melhores valores de b são constatados para AEP ($3,1069 \pm 0,0614$) e piores para BEP ($3,0214 \pm 0,0206$), sugerindo que, assim como ocorre para CAA, estratégias de arraçoamento podem ter influenciado positivamente este parâmetro em ambientes com aumento na produtividade (SOUZA *et al.*, 2018; OLIVEIRA & SOUZA, 2017).

Resultados de b acima de 3,0 para o tambaqui em todos os sistemas produtivos, estão dentro dos limites estabelecidos por Le Cren (1951) e explicam um crescimento isométrico com tendência a alométrico positivo, com maior incremento em peso em relação ao comprimento, estando próximos a outros índices observados para a espécie sob condições de cultivo (SHERUBINI, 1982; SILVA *et al.*, 1984; MELO & PEREIRA, 1994; SOUZA *et al.*, 2000; SOUZA *et al.*, 2012; SANTOS *et al.*, 2014; SOUSA *et al.*, 2016a; SOUSA *et al.*, 2016b; OLIVEIRA & SOUZA, 2017).

Trabalho realizado por Oliveira & Souza (2017) identificaram b variando entre 2,994 e 3,210 para diferentes estratégias de arraçamento do tambaqui em fases de pré-engorda ao abate, considerados próximos a este estudo. Souza *et al.* (1998), no entanto, constataram valor alométrico negativo de 2,769 para b ao investigarem o cultivado da espécie em viveiros de terra em diferentes fases, podendo os resultados estarem relacionados à qualidade e forma de alimentação (SHERUBINI, 1982; SOUZA *et al.*, 1998).

Já Santos *et al.* (2014) obtiveram valores de b entre 2,706 e 2,823 ao avaliarem a densidade de estocagem no desenvolvimento do tambaqui fase de pré-engorda, indicando que valor menor que 3,0 para alometria pode estar ligado ao período de desenvolvimento dos animais, sendo esperado que indivíduos jovens preconizam maior incremento em comprimento em detrimento do acúmulo de massa corporal (CORREIA & FREITAS, 2013).

As constantes k_n apresentam resultados próximos a outros estudos realizados (TAVARES-DIAS *et al.*, 2008; PASQUIER *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2015). Em investigação sobre o tambaqui cultivado, Santos *et al.* (2015) obtiveram valores médios k_n próximos aos deste estudo ($1,013 \pm 0,183$ a $1,019 \pm 0,213$), constatando que oscilações entre os valores (0,412 a 1,644) ao longo do ciclo produtivo, indicaram relação deste índice a sazonalidades climáticas sobre as estações do ano.

O valor recorrente de $k_n \approx 1$ com pouca variação durante o período de cultivo, e que não difere ($p > 0,05$) entre os modelos avaliados, indica bom desempenho dos animais sob influências de variáveis produtivas, como as densidades populacionais e níveis de eutrofização e qualidade do alimento fornecido (LE CREN, 1951; SOUZA *et al.*, 2000; FROESE, 2006; TAVARES-DIAS *et al.*, 2008; SILVA & FUJIMOTO, 2015; PETILLO *et al.*, 2025), além de demonstrar pouca interferência no cultivo de fatores ambientais climáticos (LE CREN, 1951; ANTONIUTTI *et al.*, 1985; ISAAC & RUFFINO, 1996; VIEIRA *et al.*, 1999; VILLACORTA-CORREA & SAINT-PAUL, 1999; SOUZA *et al.*, 2000; LIMA-JÚNIOR, 2002; FROESE, 2006; SANTOS *et al.*, 2015). Os resultados obtidos no estudo também podem indicar a não ocorrência de doenças ou infestação de parasitos nas pisciculturas, já que existe relação direta entre o k_n e efeito patogênico do parasitismo sobre a saúde dos animais (TAVARES-DIAS *et al.*, 2000; LIZAMA *et al.*, 2007; TAVARES-DIAS *et al.*, 2008; GODOI *et al.*, 2012; PEREIRA & MOREY, 2018; CHAGAS *et al.*, 2019).

4.5. MODELOS DE CRESCIMENTO

Com relação ao W_{∞} e L_{∞} assintóticos, constata-se diferença significativa ($p < 0,05$) entre os modelos, com parâmetros que indicam crescimento máximo teórico inferior para a AEP ($W_{\infty} = 3.478,63 \pm 203,04$ g; $L_{\infty} = 55,07 \pm 0,37$ cm). Os resultados demonstram que o peso máximo teórico não é atingido durante o cultivo, o que leva a se avaliar maior tempo de produção para se alcançar crescimentos mais elevados, caso seja esta uma exigência de mercado (BARROS & MARTINS, 2012; SOUZA *et al.*, 2012; MELLO *et al.*, 2015; PEDROZA-FILHO, 2016; ROSA *et al.*, 2018; CAMPOS *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2020; HILSDORF *et al.*, 2021).

Empreendimentos de BEP e MEP também diferem ($p < 0,05$) para o L_{∞} sobre AEP, com pior resultado ($55,07 \pm 0,37$ cm), porém melhor em comparação os modelos avaliados por Souza *et al.* (2000), que obtiveram valores entre 44,10 e 52,30 cm para tambaqui em ambiente de cultivo por 12 meses. Já Silva *et al.* (1984), em cultivo intensivo de tambaqui em tanques de terra firme, constataram L_{∞} de 63,00 cm, considerados próximos aos deste trabalho.

Os desempenhos de crescimento em comprimento e peso demonstraram-se relacionados ao K . Peixes com elevado L_{∞} possuem baixas taxas de crescimento, provocando maior tempo para se atingir índices corporais máximos (SOUZA *et al.*, 2000; PENNA *et al.*, 2005; SOUZA *et al.*, 2012; SOUZA *et al.*, 2013; MOURAD *et al.*, 2018; MARCOS *et al.*, 2020). As elevadas TCI para empreendimentos de AEP, podem indicar, no entanto, maior velocidade de crescimento como estratégia para se alcançar peso de comercialização, o que reflete no menor ciclo produtivo anual, e consequentemente, melhores resultados financeiros para o empreendimento (GOMES *et al.*, 2006; CAMPOS *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2020a; SILVA *et al.*, 2023; CRAVEIRO *et al.*, 2024).

5. CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que estratégias de cultivo distintas impactaram o desempenho zootécnico do tabaqui. Sistemas de alta eficiência com uso de aeração suplementar, apesar do adensamento elevado, apresentaram melhor crescimento, sugerindo forte influência de métodos de gestão adotados por produtores mais capacitados.

Recomenda-se a adoção de estratégias de intensificação para otimização no uso de recursos e aumento da escala de produção do tabaqui, visando a minimização de impactos ambientais e a obtenção de maiores retornos financeiros ao setor produtivo da espécie. Sugere-se ainda, novas investigações sobre o efeito de probióticos na qualidade da água e sua eficiência no ganho de peso do tabaqui em alta produtividade.

AGRADECIMENTO

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo suporte financeiro à execução do projeto de pesquisa com recursos dos Editais FAPEAM Nº 011/2022 PROGRAMA CIÊNCIA NA GESTÃO PÚBLICA – PCGP/FAPEAM e Nº 008/2022 PROGRAMA KUNHÃ – C, T & I NO AMAZONAS; ao suporte financeiro à publicação do artigo por meio do Projeto PDPG CAPES/FAPEAM, Edital Nº 018/2020; aos piscicultores, que permitiram o acesso e forneceram informações das fazendas; ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros (PPGCARP) e à Universidade Federal do Amazonas (UFAM) pela oportunidade de realização do Doutorado.

REFERÊNCIAS

- ABIMORAD, E. G. & CASTELLANI, D. **Qualidade da ração e manejo alimentar na sustentabilidade econômica e ambiental em empreendimentos aquícolas.** *Pesquisa & Tecnologia*, v. 8, n. 1, 2011.
- ABRAR, W. A.; PAMUKAS, N. A.; PUTRA, dan I. **The Effect of Probiotic Addition in Feed Towards Growth Performance and Survival Rate of Tambaqui (*Colossoma macropomum*) Using Bioflocs System.** *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 24(1): 32-40, 2019.
- AHMED, N.; THOMPSON, S.; TURCHINI, G. M. **Organic aquaculture productivity, environmental sustainability, and food security: insights from organic agriculture.** *Food Security*, 12: 1253-1267, 2020. DOI: 10.1007/s12571-020-01090-3
- ALMEIDA, F. L.; LOPES, J. S.; CRESCÊNCIO, R.; IZEL, A. C. U.; CHAGAS, E. C.; BOIJINK, C. **Early puberty of farmed tambaqui (*Colossoma macropomum*): Possible influence of male sexual maturation on harvest weight.** *Aquaculture*, 452: 224-232, 2016. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.10.031
- AMANCIO, A. L. de L.; NETO, M. R. da S.; FILHO, J. J.; FONSECA, S. B. da; SILVA, J. H. V. da. **Dietary protein requirements for tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) juvenile.** *Revista Ciência Agronômica*, v. 50, n. 2, p. 259-266, 2019.
- ANANIAS, I. de M. C.; SILVA, S. dos S.; SANTOS, F. A. C. dos; SOUZA, A. de S.; MAGALHÃES, T. B.; REIS, P. A. R.; FAVERO, G. C. **Tambaqui Production at Different Stocking Densities in RAS: Growth and Physiology.** *Fishes*, 9(1): 19, 2024. DOI: 10.3390/fishes9010019
- ANTONIUTTI, D. M.; RANZANI-PAIVA, M. J. T.; GODINHO, H. M. **Morfologia das gônadas, escala de maturidade e fator de condição de *Plecostomus albopunctatus* Regan, 1908 (Osteichthyes, Loricariidae) do rio Jaguari, São Paulo, Brasil.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 12(4): 87-103, 1985.
- APHA – American Public Health Association. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 17th ed. Washington: APHA, 2005, 1550p.
- ARIDE, P. H. R.; ROUBACH, R.; VAL, A. L. **Water pH in Central Amazon and its importance for tambaqui (*Colossoma macropomum*) culture.** *World Aquaculture Society Magazine*, 35(2): 24-28, 2004.
- ARIDE, P. H. R.; ROUBACH, R.; VAL, A. L. **Tolerance response of tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier) to water pH.** *Aquaculture Research*, 38(6): 588-594, 2007. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2007.01693.x

AZEVEDO, J. C. & AIUB, J. A. da S. **Avaliação da qualidade da água utilizada nos viveiros de tambaquis (*Colossoma macropomum*) na região de Cáceres – MT.** *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 12, n. 2, p. 40-46, 2012.

AZEVEDO, R. V. de; FOSSE-FILHO, J. C.; PEREIRA, S. L.; CARDOSO, L. D.; VIDAL JÚNIOR, M. V.; ANDRADE, D. R. de. **Suplementação com prebiótico, probiótico e simbiótico para juvenis de tambaqui a duas densidades de estocagem.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51(1): 9-16, 2016. DOI: 10.1590/S0100-204X2016000100002

BARÇANTE, B. & SOUZA, A. B. de. **Características zootécnicas e potenciais do tambaqui (*Colossoma macropomum*) para a piscicultura brasileira.** *Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia (PubVet)*, 9(7): 287-290, 2015. DOI: 10.22256/pubvet.v9n7.287-290

BARONE, R. S. C.; MORAES, J. M. M. de; ROSA, J. M. **Relatório Campo Futuro – Aquicultura: Custo de Produção do tambaqui (*Colossoma macropomum*) com e sem uso de aeração.** CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. *Relatório Técnico*. Manaus, AM: CNA, 2017, 6p.

BARROS, A. F. de & MARTINS, M. I. E. G. **Performance and economic indicators of a large scale fish farming in Mato Grosso, Brazil.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(6): 1325-1331, 2012. DOI: 10.1590/S1516-35982012000600001

BELCHIOR, E. B. & DALCHIAVON, F. C. **Economic viability of tambaqui production in the municipality of Ariquemes – RO.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 43(3): 373-384, 2017. DOI: 10.20950/1678-2305.2017v43n3p373

BERTALANFFY, L. von. **A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II).** *Human Biology*, 10(2): 181-213, 1938.

BERTONE, A. M. A.; JAFELICE, R. S. da M.; NASCIMENTO, F. A. F. **Modeling approach for the parameters of von Bertalanffy growth equation.** *Computational and Applied Mathematics*, 43(2): 83, 2024. DOI: 10.1007/s40314-024-02591-z

BOTELHO, B. W. C.; GAMA, J. P.; RODRIGUES, R. P.; CAMPELO, D. A. V.; VERAS, G. C.; BRABO, M. F. **Criação de tambaqui em viveiros escavados no estado do Pará, Amazônia, Brasil.** *Informações Econômicas*, v. 52, eie062020, 2022. DOI: 10.56468/1678-832X.eie0620.2022

BOYD, C. E. **Pond water aeration systems.** *Aquacultural Engineering*, 18: 9-40, 1998. DOI: 10.1016/S0144-8609(98)00019-3

BOYD, C. E.; D'ABRAMO, L. R.; GLENCROSS, B. D.; HUYBEN, D. C.; JUAREZ, L. M.; LOCKWOOD, G. S.; McNEVIN, A. A.; TACON, A. G. J.; TELETCHEA, F.; TOMASSO, J. R.; TUCKER, C. S.; VALENTI, W. C. **Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges.** *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3): p. 578-633, 2020. DOI: 10.1111/jwas.12714

BOYD, C. E.; DAVIS, R. P.; McNEVIN, A. A.; KUMAR. **Chapter 13 - Water quality and its impacts on feeding practices.** In: KUMAR, A. A. (Ed.) *Feed and Feeding for Fish and Shellfish*. Nutritional Management. London: Academic Press, pp. 383-401, 2025. DOI: 10.1016/B978-0-443-21556-8.00006-5

BOYD, C. E. & GROSS, A. **Use of Probiotics for Improving Soil and Water Quality.** In: FLEGEL, T. W. (Ed.) *Advances in shrimp biotechnology*. National Center for Genetic Engineer, Bangkok, pp. 102-106, 1998.

BRANDÃO, F. R.; GOMES, L. de C.; CHAGAS, E. C.; ARAÚJO, L. D. de. **Densidade de estocagem de juvenis de tambaqui durante a recria em tanques-rede.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(4): 357-362, 2004. DOI: 10.1590/S0100-204X2004000400009

BUENO, G. W.; BUREAU, D.; SKIPPER-HORTO, J. O.; ROUBACH, R.; MATTOS, F. T. de; BERNAL, F. E. M. **Modelagem matemática para gestão da capacidade de suporte de empreendimentos aquícolas em lagos e reservatórios.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(9): 695-706, 2017. DOI: 10.1590/S0100-204X2017000900001

CAMPOS, E. C.; OLIVEIRA, C. A. L.; ARAÚJO, F. C. T.; TODESCO, H.; SOUZA, F. N.; ROSSI, R. M.; FORNARI, D. C.; RIBEIRO, R. P. **Genetic parameters and response to selection for growth in tambaqui.** *Animal*, 14(9): 1777-1785, 2020. DOI: 10.1017/S1751731120000488

CAMPOS, C. P.; SOUSA, R. G. C.; CATARINO, M. F.; COSTA, G. de A.; FREITAS, C. E. C. **Population dynamics and stock assessment of *Colossoma macropomum* caught in the Manacapuru Lake system (Amazon Basin, Brazil).** *Fisheries Management and Ecology*, 22, 400-406, 2015. DOI: 10.1111/fme.12139

CASTRO, A. L.; SOUZA, N. H.; BARROS, L. C. G. **Avaliação do sistema de produção de Tambaqui intensivo em viveiro de terra com aeração.** *Comunicado Técnico 09*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE, 2002, 4p.

CAVERO, B. A. S.; RUBIM, M. A. L.; PEREIRA, T. M. **Criação comercial do tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818).** In: TAVARES-DIAS, M. (Org.) *Manejo e sanidade de peixes em cultivo*. Macapá: Embrapa Amapá, p. 33-46, 2009.

CHAGAS, E. C.; AQUINO-PEREIRA, S. L.; BENAVIDES, M. V.; BRANDÃO, F. R.; MONTEIRO, P. C.; MACIEL, P. O. ***Neoechinorhynchus buttnerae* parasitic infection in tambaqui (*Colossoma macropomum*) on fish farms in the state of Amazonas.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 45(2): e499, 2019. DOI: 10.20950/1678-2305.2019.45.2.499

CHAGAS, E. C.; GOMES, L. de C.; MARTINS-JÚNIOR, H.; ROUBACH, R. **Produtividade de tambaqui criado em tanque-rede com diferentes taxas de alimentação.** *Ciência Rural*, v. 37, n. 4, p. 1109-1115, 2007.

CHAGAS, E. C.; GOMES, L. de C.; MARTINS-JÚNIOR, H.; ROUBACH, R.; LOURENÇO, J. N. de P. **Desempenho de tambaqui cultivado em tanques-rede, em lago de várzea, sob diferentes taxas de alimentação.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(8): 833-835, 2005. DOI: 10.1590/S0100-204X2005000800015

CILDOZ, M. U. & PALOMINO, S. **Modelos Populacionais Aplicados à Aquicultura.** *Biomatemática*, 27(2): 19-42, 2017.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** *Diário Oficial da União*, Brasília, 18 de março de 2005.

CONDE, T. T.; CODOGNOTO, L da C.; FARIA, G. A.; MALTONI, K. L.; RIBEIRO, C. da S. **Parâmetros Limnológicos de corpos hídricos utilizados para produção de Tambaqui na Amazônia.** *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 14, n. 1, p. 167-176, 2021. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14n1e007789

CORREIA, G. B. & FREITAS, C. E. de C. **Relação peso-comprimento de *Colossoma macropomum* e *Prochilodus nigricans* a partir de dados de desembarque em Manacapuru – AM.** *Scientia Amazonia*, 2(2): 15-19, 2013.

COSTA, L. R. F.; BARTHEM, R. B.; BITTENCOURT, M. M.; VILLACORTA-CORRÊA, M. A. **Modelling the growth of tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816) in floodplain lakes: model selection and multimodel inference.** *Brazilian Journal of Biology*, 73(2): 397-403, 2013. DOI: 10.1590/S1519-69842013000200021

COSTA, O. T. F. da; DIAS, L. C.; MALMANN, C. S. Y.; FERREIRA, C. A. de L.; CARMO, I. B. do.; WISCHNESKI, A. G.; SOUSA, R. L. de.; CAVERO, B. A. S.; LAMEIRAS, J. L. V.; SANTOS, M. C. dos. **The effects of stocking density on the hematology, plasma protein profile and immunoglobulin production of juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*) farmed in Brazil.** *Aquaculture*, 499(7): 260-268, 2018b. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2018.09.040

COSTA, O. T. F. da; FERREIRA, D. J. dos S.; MENDONÇA, F. L. P.; FERNANDES, M. N. **Susceptibility of the Amazonian fish, *Colossoma macropomum* (Serrasalminae), to short-term exposure to nitrite.** *Aquaculture*, 232(1): 627-636, 2004. DOI: 10.1016/S0044-8486(03)00524-6

COSTA, J.; FREITAS, R.; GOMES, A. L.; BERNARDINO, G.; CARNEIRO, D.; MARTINS, M. I. **Effect of stocking density on economic performance for *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816), juvenile in earthen ponds.** *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(1): 165-170, 2016. DOI: 10.3856/vol44-issue1-fulltext-18

COSTA, J. I. da; GOMES, A. L. S.; BERNARDINO, G.; SABBAG, O. J.; MARTINS, M. I. E. G. **Productive performance and economic evaluation of tambaqui roelo in excavated fishponds, Manaus, Brazil.** *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 12, n. 3, p. 234-244, 2018a. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v12i3.4895

COSTA, J. I. da; GOMES, A. L. S.; SABBAG, O. J.; MARTINS, M. I. E. G. **Economic evaluation of tambaqui “curumim” production in earth ponds in the metropolitan region of Manaus-Brazil.** *Revista Científica Rural*, v. 19, n. 2, p. 174-183, 2017.

COSTA, J. I. da; SABBAG, O. J.; MARTINS, M. I. E. G. **Scale efficiency in tambaqui farming in earth ponds in the Metropolitan Region of Manaus-AM.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 46(2): e584, 2020. DOI: 10.20950/1678-2305.2020.46.2.584

CRAVEIRO, J. M. da C.; FREITAS, C. E. de C.; CAVERO, B. A. S.; JUNIOR, M. S. **Influência do Tempo de Alevinagem na Otimização da Produção de Biomassa do Tambaqui em Piscicultura Semi-Intensiva na Região Norte do Amazonas.** *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(4): 1-21, e04332, 2024. DOI: 10.24857/rgsa.v18n4-014

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

CYRINO, J. E. P.; BICUDO, A. J. de A.; SADO, R. Y.; GORGHESI, R.; DAIRIKI, J. K. A. **Piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(suppl): 68-87, 2010.

DANTAS-FILHO, J. V. **Gestão de Custos na Piscicultura no Município de Presidente Médici – Rondônia – Brasil.** *Associação Brasileira de Custos*, v. 12, n. 2, p. 29-52, 2017. DOI: 10.47179/abcustos.v12i2.425

DAS, S.; MONDAL, K.; HAQUE, S. **A review on application of probiotic, prebiotic and synbiotic for sustainable development of aquaculture.** *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5(2): 422-429, 2017.

DAWOOD, M. A. O.; KOSHIO, S.; ABDEL-DAIM, M. M.; DOAN, H. V. **Probiotic application for sustainable aquaculture.** *Reviews in Aquaculture*, 11(3): 907-924, 2019. DOI: 10.1111/raq.12272

DONG, S. L. & ZHOU, Y. G. **Growth of Aquaculture Animals**. In: DONG, S. L.; TIAN, X. L.; GAO, Q. F.; DONG, Y. W. (Eds.) *Aquaculture Ecology*. Singapore: Springer, pp. 161-217, 2023. DOI: 10.1007/978-981-19-5486-3_5

EL-SAADONY, M. T.; ALAGAWANY, M.; PATRA, A. K.; KAR, I.; TIWARI, R.; DAWOOD, M. A. O.; DHAMA, K.; ABDEL-LATIF, H. M. R. **The functionality of probiotics in aquaculture: An overview**. *Fish & Shellfish Immunology*, 117: 36-52, 2021. DOI: 10.1016/j.fsi.2021.07.007

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action*. Rome: FAO, 2024, 232p. DOI: 10.4060/cd0683en

FARIAS, F. D. F.; NAKAUTH, A. C. S. S.; NAKAUTH, R. F.; CAMPOS, T. F. L.; LIMA, F. S. **Desempenho zootécnico de tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) em diferentes densidades**. *Agrariae Liber*, 3(1): 1-6, 2021. DOI: 10.6008/CBPC2674-6476.2021.001.0001

FEITOZA, D. L. S.; SONODA, D. Y.; SOUZA, L. A. de. **Risco da rentabilidade em pisciculturas de tambaqui nos estados do Amazonas, Rondônia e Roraima**. *Revista iPecege*, 4(4): 40-53, 2018.

FERRI, L. S.; ROCHA, W. de S.; FILHO, M. do S. P. B. **Tendências e tecnologias sustentáveis na aquicultura: recirculação, aquaponia e bioflocos**. *Incaper em Revista*, v. 9, p. 66-78, 2018.

FITZHUGH JR, H. A. **Analysis of growth curves and strategies for altering their shape**. *Journal of Animal Science*, 42(4): 1036-51, 1976. DOI: 10.2527/jas1976.4241036x.

FREITAS, A. R. de. **Curvas de Crescimento na Produção Animal**. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 34(3): 786-795, 2005. DOI: 10.1590/S1516-35982005000300010

FREITAS, R. S.; BOIJINK, C. de L.; MUNIZ, A. W.; DAIRIK, J. K.; INOUE, L. A. K. A. **Qualidade da água e perspectivas para gerenciamento ambiental dos cultivos de tambaqui no município de Rio Preto da Eva, AM**. *Scientia Amazonia*, 3(1): 116-126, 2014.

FROESE, R. **Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendations**. *Journal Applied Ichthyology*, 22(4): 241-253, 2006. DOI: 10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x

GANDRA, A. L. *O mercado de pescado da região metropolitana de Manaus*. Série: O mercado do pescado nas grandes cidades latino-americanas. Proyecto mejoramiento del acceso a los mercados de productos pesqueros y acuícolas de la Amazônia – CFC/FAO/INFOPESCA. Montevideu: Infopesca, 2010, 91p.

GARCIA, F.; ROMRA, D. M.; GOZI, K. S.; ONAKA, E. M.; FONSECA, F. S.; SCHALCH, S. H. C.; CANDEIRA, P. G.; GUERRA, L. O. M.; CARMO, F. J.; CARNEIRO, D. J.; MARTINS, M. I. E. G.; PORTELLA, M. C. **Stocking density of Nile tilapia in cages placed in a hydroelectric reservoir.** *Aquaculture*, 410-411: 51-56, 2013. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2013.06.010

GODOI, M. M. I. de M.; ENGRACIA, V.; LIZAMA, M. de L. A. P. **Parasite-host relationship between the tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier 1818) and ectoparasites, collected from fish farms in the City of Rolim de Moura, State of Rondônia, Western Amazon, Brazil.** *Acta Amazonica*, 42(4): 515-524, 2012.

GOMES, L. de C.; CHAGAS, E. C.; MANTINS-JÚNIOR, H.; ROUBACH, R.; ONO, E. A.; LOURENÇO, J. N. de P. **Cage culture of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in a central Amazon floodplain lake.** *Aquaculture*, 253(1-4): 374-384, 2006. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2005.08.020

GOMES, L. C. & SILVA, C. R. **Impact of pond management on tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier), production during growth-out phase.** *Aquaculture Research*, 40(7): 825-832, 2009. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2009.02170.x

GONDWE, M. J. S.; GUILDFORD, S. J.; HECKY, R. E. **Carbon, nitrogen and phosphorus loadings from tilapia fish cages in Lake Malawi and factors influencing their magnitude.** *Journal of Great Lakes Research*, 37: 93-101, 2011. DOI: 10.1016/j.jglr.2010.11.014

GORDON, L. J.; BIGNET, V.; CRONA, B.; HENRIKSSON, P. J. G.; HOLT, T. V.; JONELL, M.; LINDAHL, T.; TROELL, M.; BARTHEL, S.; DEUTSCH, L.; FOLKER, C.; HAIDER, L. J.; ROCKSTRÖM, J.; QUEIROZ, C. **Rewiring food systems to enhance human health and biosphere stewardship.** *Environmental Research Letters*, 12(10): 100201, 2017. DOI: 10.1088/1748-9326/aa81dc

GOSHU, A. T. & KOYA, P. R. **Derivation of inflection points of nonlinear regression curves – implications to statistics.** *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 2(6): 268-272, 2013. DOI: 10.11648/j.ajtas.20130206.25

HARGREAVES, J. A. **Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds.** *Aquaculture*, 166(3-4): 181-212, 1998. DOI: 10.1016/s0044-8486(98)00298-1

HARGREAVES, J. A. & TUCKER, C. S. **Managing Ammonia in Fish Ponds.** *Southern Regional Aquaculture Center*, 4603, 2004

HENRIKSSON, P. J. G.; TROELL, M.; BANKS, L. K.; BELTON, B.; BEVERIDGE, M. C. M.; KLINGER, D. H.; PELLETIER, N.; PHILLIPS, M. J.; TRAN, N. **Interventions for improving the productivity and environmental performance of global aquaculture for future food security.** *One Earth*, 4(9): 1220-1232, 2021. DOI: 10.1016/j.oneear.2021.08.009

HLORDZI, V.; KUEBUTORNYEA, F. K. A.; AFRIYIEH, G.; ABARIKEI, E. D.; LUA, Y.; CHIA, S.; ANOKYEWAA, M. A. **The use of *Bacillus* species in maintenance of water quality in aquaculture: A review.** *Aquaculture Reports*, 18: 100503, 2020. DOI: 10.1016/j.aqrep.2020.100503

HURTADO, F. B.; FIGUEIREDO, F. M.; COSTA, R. L. da; BOMFIM, S. C.; QUEIROZ, C. B. de; PONTES, W. P. **Parâmetros limnológicos em viveiros de piscicultura semi-intensiva de tambaqui com abastecimento em disposição sequencial.** *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 11, n. 1, p. 9-30, 2018. DOI: 10.17765/2176-9168.2018v11n1p9-30

INOUE, L. A. K. A.; BEZERRA, A. C.; MIRANDA, W. S.; MUNIZ, A. W.; BOIJINK, C. de L. **Cultivo de tambaqui em gaiolas de baixo volume: Efeito da densidade de estocagem na produção de biomassa.** *Ciência Animal Brasileira*, 15(4): 437-443, 2014. DOI: 10.590/1089-6891v15i426758

IRIANTO, A. & AUSTIN, B. **Probiotics in aquaculture.** *Journal of Fish Diseases*, 25(11), 633-642, 2002. DOI: 10.1046/j.1365-2761.2002.00422.x

ISAAC, V. J. & RUFFINO, M. L. **Biologia Pesqueira do Tambaqui, *Colossoma macropomum*, no Baixo Amazonas.** In: RUFFINO, M. L. (Org.). *A pesca e os recursos pesqueiros na Amazônia Brasileira*. Manaus: Ibama, p. 185-211, 2004.

_____. **Population dynamics of tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Lower Amazon.** *Fisheries Management and Ecology*, 3, 315-333, 1996. DOI: 10.1046/j.1365-2400.1996.d01-154.x

ISMIÑO-ORBE, R. A.; ARAUJO-LIMA, C. A. R. M.; GOMES, L. C. **Excreção de amônia por tambaqui (*Colossoma macropomum*) de acordo com variações na temperatura da água e massa do peixe.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38(10): 1234-1247, 2003. DOI: 10.1590/S0100-204X2003001000015

IZEL, A. C. U.; CRESCÊNCIO, R.; O'SULLIVAN, F. L. de A.; CHAGAS, E. C.; BOIJINK, C. L.; SILVA, J. I. **Produção intensiva de tambaqui em tanques escavados com aeração.** *Circular Técnica 39*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, 2013, 4p.

IZEL, A. C. U. & MELO, L. A. S. **Criação de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em tanques escavados no Estado do Amazonas.** *Documento 32*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, 2004, 20p.

IZEL-SILVA, J.; ONO, E. A.; QUEIROZ, M. N. de; SANTOS, R. B. dos; AFFONSO, E. G. **Aeration strategy in the intensive culture of tambaqui, *Colossoma macropomum*, in the tropics.** *Aquaculture*, 529(3): 735644, 2020. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735644

JAMES, G.; DAS, B. C.; JOSE, S.; KUMAR, R. **Bacillus as an aquaculture friendly microbe**. *Aquaculture International*, 29: 323-353, 2021. DOI: 10.1007/s10499-020-00630-0

KEYS, A. B. **The weight-length relationship in fishes**. *Proceedings of the National Academy of Science*, 14(12): 922-925, 1928. DOI: 10.1073/pnas.14.12.922

KUMAR, A.; MOULICK, S.; MAL, B. C. **Selection of aerators for intensive aquacultural pond**. *Aquacultural Engineering*, 56: 71-78, 2013. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2013.05.003

LADISLAU, D. S.; TAKIYAMA, L. R.; SOUZA, P. L.; RIBEIRO, M. W. S.; ARIDE, P. H. R.; LAVANDER, H. D.; BASSUL, L. A.; MATTOS, D. C.; CARDOSO, L. D.; OLIVEIRA, A. T. **Avaliação da qualidade da água em pisciculturas de Macapá, Amapá**. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v. 11, n. 2, p. 402-417, 2020. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.002.0037

LE CREN, E. D. **The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*)**. *Journal of Animal Ecology*, 20: 201-219, 1951. DOI: 10.2307/1540

LEAL, V. G. B.; FREITAS, R. A. de; HIPY, A. da S.; ALMEIDA, F. F. L.; OLIVEIRA, A. T. de; ARIDE, P. H. R.; PANTOJA-LIMA, J. **Avaliação do desempenho zootécnico de linhagens melhoradas de tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) na Amazônia central**. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v. 11, n. 5, p. 227-236, 2020. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0022

LEAL, C. S.; MICCHI, G. C. T.; MELO, G. M. de; SALGADO, M. M.; FRAIJI, P. I. R.; OLIVEIRA, W. C. de; PRADO S. M. do. **Qualidade da água na piscicultura, fatores físicos (cor, transparência, turbidez e temperatura)**. In: BROLIO, M. P.; CAMPOS, L. B.; SOUZA, S. S. de; SOTERO, M. do P.; ALE, V. M. M.; PEREIRA, K. D. do E. S. (Org.) *Práticas em Medicina Veterinária*. Belo Horizonte: Editora Poisson, vol. 1, cap. 2, p. 22-26, 2023. DOI: 10.36229/978-65-5866-323-2.CAP.02

LEIRA, M. H.; CUNHA, L. T. da; BRAZ, M. S.; MELO, C. C. V.; BOTELHO, H. A.; REGHIM, L. S. **Qualidade da água e seu uso em pisciculturas**. *Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia (PubVet)*, 11(1): 11-17, 2017. DOI: 10.22256/pubvet.v11n1.11-17

LI, X.; WANG, T.; FU, B.; MU, X. **Improvement of aquaculture water quality by mixed *Bacillus* and its effects on microbial community structure**. *Environmental Science and Pollution Research*, 29: 69731-69742, 2022. DOI: 10.1007/s11356-022-20608-0

LIKA, K. & KOOIJMAN, S. A. L. M. **The metabolic interpretation of the von Bertalanffy growth rate**. *Ecological Modelling*, 488: 110591, 2024. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2023.110591

LIMA, C. A. S.; MACHADO-BUSSONS, M. R. F.; OLIVEIRA, A. T.; ARIDE, P. H. R.; O'SULLIVAN, F. L. A.; PANTOJA-LIMA, J. **Socioeconomic and profitability analysis of tambaqui *Colossoma macropomum* fish farming in the state of Amazonas, Brazil.** *Aquaculture Economics & Management*, 24(4): 406-421, 2020. DOI: 10.1080/13657305.2020.1765895

LIMA, C. A. S.; MACHADO-BUSSONS, M. R. F. M.; PANTOJA-LIMA, J. **Classificação dos sistemas de produção e grau de impacto ambiental das pisciculturas no estado do Amazonas, Brasil.** *Revista Colombiana de Ciência Animal*, 11(1): 707-721, 2019. DOI: 10.24188/recia.v11.n1.2019.707

LIMA, A. F.; RODRIGUES, A. P. O.; MACIEL, P. O.; PRYSTHON, A.; FLORES, R. M. V.; BEZERRA, T. A. **Small-scale fish farming in seasonal ponds in Brazil: technical and economic characterization.** *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(2): 314-329, 2018. DOI: 10.3856/vol46-issue2-fulltext-7

LIMA-JÚNIOR, S. E.; CARDONE, I. B.; GOITEIN, R. **Determinação de um método para cálculo do Fator de Condição Alométrico de peixes.** *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 24(2): 397-400, 2002. DOI: 10.4025/actascibiolsci.v24i0.2311

LIN, C. K. & YI, Y. **Minimizing environmental impacts of freshwater aquaculture and reuse of pond effluents and mud.** *Aquaculture*, 226(1-4): 57-68, 2003. DOI: 10.1016/S0044-8486(03)00467-8

LIZAMA, M. de los A. P.; TAKEMOTO, R. M.; RANZANI-PAIVA, M. J. T.; AYROZA, L. M. da S.; PAVANELLI, G. C. **Relação parasito-hospedeiro em peixes de pisciculturas da região de Assis, Estado de São Paulo, Brasil. 1. *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1757).** *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 29(2): 223-231, 2007. DOI: 10.4025/actascibiolsci.v29i2.594

LOH, J.-Y. **The role of probiotics and their mechanisms of action: an aquaculture perspective.** *World Aquaculture*, 48(1): 19-23, 2017.

MACEDO, C. F. & SIPAÚBA-TAVARES, L. H. **Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações.** *Boletim Instituto da Pesca*, 36(2): 149-163, 2010. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpescpa> Acesso em 06 de novembro de 2024.

MARCOS, R.; POVH, J. A.; FORNARI, D. C.; OLIVEIRA, C. A. L. de; RIBEIRO, R. P.; LOPERA-BARRERO, N. M.; FILHO, R. A. C. C.; ABREU, J. S. de; MURARI, P. J. F. **Weight gain and morphometric growth of genetically improved tambaqui (*Colossoma macropomum*).** *Semina: Ciências Agrárias*, 37(4): 2521-2527, 2016. DOI: 10.5433/1679-0359.2016v37n4Supl1p2521

MARCOS, R.; RIBEIRO, R. P.; ABREU, J. S. de; FORNARI, D. C.; OLIVEIRA, C. A. L. de; STREIT JR, D. P.; BARROS, C. M. C. A. de; LOPERA-BARRERO, N. M.; CORRÊA FILHO, R. A. C.; POVH, J. A. **Growth curve of selectively bred and non selectively bred tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92(3): e20190099, 2020. DOI: 10.1590/0001-3765202020190099.

MEDEIROS-JÚNIOR, E. F. de; CORDEIRO, G. L.; SILVA, M. J. L. da. **Qualidade da água em viveiros de tambaqui *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818, em São Gabriel da Cachoeira, Amazonas, Brasil**. *IGAPÓ – Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFAM*, v. 12, n. 1, p. 22-31, 2018.

MELO, J. S. C. & PEREIRA, J. A. **Crescimento do híbrido tambacu (fêmea de *Colossoma macropomum* x macho de *Piaractus mesopotamicus*) em criação intensiva**. *Boletim Técnico do CEPTA*, v. 7, p. 59-75, 1994.

MELLO, M. H. de P. L. & NUNES, C. de A. P. **Método de Ford-Walford aplicado ao modelo generalizado de von Bertalanffy**. *Cadernos do IME – Série Matemática*, 11: 24-34, 2017. DOI: 10.12957/cadmat.2017.30132

MELLO, F. O.; RIBEIRO, C. A. L.; RESENDE, R. P.; EMIKO K.; POVH, J. A.; FORNARI, D. C.; BARRETO, R. V.; McMANUS, C.; STREIT JR, D. **Growth curve by Gompertz non linear regression model in female and males in tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87(4): 2309-2315, 2015. DOI: 10.1590/0001-3765201520140315

MOHAPATRA, S.; CHAKRABORTY, T.; KUMAR, V.; DeBOECK, G.; MOHANTA, K. N. **Aquaculture and stress management: a review of probiotic intervention**. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 97(3): 405-430, 2013. DOI: 10.1111/j.1439-0396.2012.01301.x

MONTELO, R. H. C.; SANTO, R. B. dos; FUGIMURA, M. M. S.; ONO, E. A.; CHAVES, F. A. H.; MATTIOLI, C. C.; AFFONSO, E. G. **Stocking densities of *Colossoma macropomum* in the initial grow-out phase using biofloc technology**. *Aquaculture International*, 32: 9933-9950, 2024. DOI: 10.1007/s10499-024-01643-9

MORAIS, I. da S. de & O'SULLIVAN, F. L. de A. **Biologia, habitat e cultivo do tambaqui *Colossoma macropomum* (CUVIER, 1816)**. *Scientia Amazonia*, 6(1): 81-93, 2017.

MORIGUCHI, K. **An approach for deriving growth equations for quantities exhibiting cumulative growth based on stochastic interpretation**. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 490: 1150-1163, 2018. DOI: 10.1016/j.physa.2017.08.142

MOURAD, N. M. N.; COSTA, A. C.; FREITAS, R. T. F.; SERAFINI, M. A.; NETO, R. V. R.; FELIZARDO, V. O. **Weight and morphometric growth of Pacu (*Piaractus mesopotamicus*), Tambaqui (*Colossoma macropomum*) and their hybrids from spring to winter.** *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 38(3): 544-550, 2018. DOI: 10.1590/1678-5150-PVB-4808

NAYAK, S. K. **Multifaceted applications of probiotic *Bacillus* species in aquaculture with special reference to *Bacillus subtilis*.** *Reviews in Aquaculture*, 13(2): 862-906, 2020. DOI: 10.1111/raq.12503

NETO, E. B. B.; PRADO, G. F.; PRADO, G. A. F.; SOUSA, R. G. C. **Engorda de tambaquis (1 a 3 kg) arraçoados com dietas contendo 22 e 28% de proteína bruta.** *Scientia Amazonia*, 6(1): 1-8, 2017.

NUNES, E. da S. S.; CAVERO, B. A. S.; PEREIRA-FILHO, M.; ROUBACH, R. **Enzimas digestivas exógenas na alimentação de juvenis de tambaqui.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(1): 139-143, 2006.

OBA, E. T.; CORREA, R. de O.; SANTOS, J. S.; BORGES, M.; TOSTES, L. V.; MARINHO, R. G. B.; MEYER, G.; MARTINS JUNIOR, H. **Efeitos fisiológicos da utilização de probiótico na alimentação de tambaqui.** In: *Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca*, Belém: FAEP, 2011, 4p.

OISHI, C. A.; NWANNA, L. C.; PEREIRA-FILHO, M. **Optimum dietary protein requirement for Amazonian Tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818, fed fish meal free diets.** *Acta Amazonica*, 40(4): 757-762, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672010000400017>

OLIVEIRA, R. C. de. **O panorama da aqüicultura no Brasil: A prática com foco na sustentabilidade.** *Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade*, 2(1): 71-89, 2009.

OLIVEIRA, R. P. de C.; SILVA, P. C.; PÁDUA, D. M. C.; AGUAR, M.; MAEDA, H.; MACHADO, N. P.; RODRIGUES, V.; SILVA, R. H. da. **Efeitos da densidade de estocagem sobre a qualidade da água na criação do tambaqui (*Colossoma macropomum*, cuvier, 1818) durante a segunda alevinagem, em tanques fertilizados.** *Ciência Animal Brasileira*, 8(4): 705-711, 2007.

OLIVEIRA, C. M. & SOUZA, R. G. C. **Cultivo de tambaquis da pré-engorda ao abate com diferentes taxas de arraçoamento.** *Biota Amazônica*, 7(4): 20-25, 2017. DOI: 10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v7n4p20-25

OLIVEIRA, A. M.; VAL, V. M. F. de A.; VAL, A. L. **Caracterização da atividade de piscicultura nas mesorregiões do estado do Amazonas, Amazônia brasileira.** *Revista Colombiana de Ciência Animal*, 4(1): 154-162, 2012.

OTTINGER, M.; CLAUSS, K. C.; KUENZER, C. **Aquaculture: Relevance, distribution, impacts and spatial assessments – A review.** *Ocean & Coastal Management*, 119: 244-266, 2016. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2015.10.015

PADMAVATHI, P.; SUNITHA, K.; VEERAIHAH, K. **Efficacy of probiotics in improving water quality and bacterial flora in fish ponds.** *African Journal of Microbiology Research*, 6(49): 7471-7478, 2012. DOI: 10.5897/AJMR12.496

PANTOJA-LIMA, J.; SANTOS, S. M. dos; OLIVEIRA, A. T.; ARAUJO, R. L.; SILVA-JUNIOR, J. A. L.; ARIDE, P. H. R. **Pró-Rural Aquicultura: Relatos das principais ações de extensão tecnológica e um panorama do setor aquícola do estado do Amazonas, Brasil.** *Nexus-Revista de Extensão do IFAM*, v. 1, n. 1, p. 35-45, 2015.

PASQUIER, G. A. de; MÉNDEZ, Y.; PERDOMO, D. A. **Engorde experimental de cachama (*Colossoma macropomum*) en la Estación Local El Lago, estado Zulia, Venezuela.** *Zootecnia Tropical*, 29(2): 213-218, 2011.

PEDROZA-FILHO, M. X.; RODRIGUES, A. P. O. & REZENDE, F. P. **Dinâmica da produção de tambaqui e demais peixes redondos no Brasil.** CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. *Boletim Ativos da Aquicultura*, 2(7): 1-5, 2016.

PENNA, M. A. H.; VILLACORTA-CORRÊA, M. A.; WALTER, T.; PETRERE-JR, M. **Growth of the tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier) (Characiformes: Characidae): Which is the best model?** *Brazilian Journal of Biology*, 65(1): 129-139, 2005. DOI: 10.1590/S1519-69842005000100017

PEREIRA, L. P. F. & MERCANTE, C. T. J. **A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água: uma revisão.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 31(1): 81-88, 2005.

PEREIRA, J. N. & MOREY, G. A. M. **First record of *Neoechinorhynchus buttnerae* (Eoacantocephala, Neochinorhynchidae) on *Colossoma macropomum* (Characidae) in a fish farm in Roraima, Brazil.** *Acta Amazonica*, 48(1): 42-45, 2018. DOI: 10.1590/1809-439220170241

PEREIRA-JÚNIOR, G. P.; PEREIRA, E. M. de O.; FILHO, M. P.; BARBOSA, P. de S.; SHIMODA, E.; BRANDÃO, L. V. **Desempenho produtivo de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*, CUVIER, 1818) alimentados com rações contendo farinha de crueira de mandioca (*Manihot esculenta*, CRANTZ) em substituição ao milho (*Zea mays*).** *Acta Amazonica*, 43(2): 217-226, 2013. DOI: 10.1590/S0044-59672013000200013

PETILLO, E. C.; FERREIRA, A. da C.; OLIVEIRA, C. P. F. de; BRANDÃO, L. V.; MARINHO-PEREIRA, T.; CAVERO, B. A. S. **Tambaqui (*Colossoma macropomum*) in RAS Technology: Zootechnical, Hematological, Biochemical and Kn Profiles at Different Stocking Densities During the Initial Grow-Out Phase.** *Aquaculture Journal*, 5(1): 1-11, 2025. DOI: 10.3390/aquacj5010001

PETREIRE-JR, M. **Yield per recruit of the Tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, in the Amazonas State, Brazil.** *Journal of Fish Biology*, 22: 133-144, 1983. DOI: 10.1111/j.1095-8649.1983.tb04733.x

PORTO, M. O.; OLIVEIRA, J. D. de; CAVALI, J.; DANTAS-FILHO, J. V.; SOARES, N. T. D.; GASPAROTTO, P. H. G.; FERREIRA, E. **Frequência alimentar para tambaquis *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) cultivados em um centro de pesquisa amazônico.** *Revista de Administração e Negócios da Amazônia*, v. 12, n. 1, p. 108-121, 2020. DOI: 10.18361/2176-8366/rara.v12n1p108-121

PRAXEDES, A. A.; SOUZA, R. H. B. de; FILHO, J. V. D.; FREITAS, C de O. **Viabilidade econômica do cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em relação a outras atividades agropecuárias no estado de Rondônia.** In: FILHO, J. V. D.; FREITAS, C. de O.; CAVALI, J. (Org.) *Viabilidade econômica e aspectos produtivos de peixes nativos da Amazônia*. São José dos Pinhais: Brazilian Journals, cap. 2, p. 25-47, 2021. DOI: 10.35587/brj.ed.0000888

QUEIROZ, J. F. de & BOEIRA, R. C. **Boas práticas de manejo para manter concentrações adequadas de oxigênio dissolvido em viveiros de piscicultura.** *Comunicado Técnico 54*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, 2016, 9p.

_____. **Boas Práticas de Manejo (BPMs) para Reduzir o Acúmulo de Amônia em Viveiros de Aqüicultura.** *Comunicado Técnico 44*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, 2007, 5p.

QUEIROZ, J. F. de & SILVEIRA, M. P. **Recomendações Práticas para Melhorar a Qualidade da Água e dos Efluentes dos Viveiros de Aqüicultura.** *Circular Técnica 12*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, 2006, 14p.

QUEIROZ, C. A. de; SOUSA, N. R.; SILVA, G. F. da; INOUE, L. A. K. A. **Impacts of stocking on the genetic diversity of *Colossoma macropomum* in central Amazon, Brazil.** *Genetics and Molecular Research*, 15(2): gmr.15027700, 2016. DOI: 10.4238/gmr.15027700

RESENDE, E. K. de. **Pesquisa em rede em aqüicultura: bases tecnológicas para o desenvolvimento sustentável da aqüicultura no Brasil.** *Aquabrazil. Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(suppl): 52-57, 2009. DOI: 10.1590/S1516-35982009001300006

ROA, F. G. B.; SILVA, S. dos S.; HOSHIBA, M. A.; SILVA, L. K. S. da; BARROS, A. F. de; ABREU, J. S. de. **Production performance of tambaqui juveniles subjected to short feed-deprivation and refeeding cycles.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 45(4): e466, 2019. DOI: 10.20950/1678-2305.2019.45.4.466

RODRIGUES, A. P. O. **Nutrição e alimentação do tambaqui (*Colossoma macropomum*).** *Boletim do Instituto de Pesca*, 40(10): 35-145, 2014.

RODRIGUES, A. P. O.; FREITAS, L. E. L. de; MACIEL-HONDA, P. O.; LIMA, A. F.; LIMA, L. K. F. de. **Feeding rate and feeding frequency during the grow-out phase of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in earthen ponds.** *Aquaculture Reports*, 35: 102000, 2024. DOI: 10.1016/j.aqrep.2024.102000

ROSA, L. P.; SANTOS, A. C. M. dos; BARROS, L. de S.; PEIXOTO, T. S. R.; GONÇALVES, K. C.; CRUZ, L. C. C.; CRUZ, P. A. da. **Modelagem matemática do padrão de crescimento do tambaqui por meio do modelo de Gompertz.** *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, 11(2): 18-26, 2018. DOI: 10.18817/repesca.v11i2.1619

ROY, S. M.; JAYRAJ, P.; MACHAVARAM, R.; PAREEK, C. M.; MAL, B. C. **Diversified aeration facilities for effective aquaculture systems – a comprehensive review.** *Aquaculture International*, 29: 1181-1217, 2021. DOI: 10.1007/s10499-021-00685-7

SAINT-PAUL, U. **Physiological adaptation hypoxia of a neotropical characoid fish *Colossoma macropomum*, Serrasalminidae.** *Environmental Biology of Fishes*, 11(1): 53-62, 1984. DOI: 10.1007/BF00001845

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

SANTOS, F. A. C.; BOAVENTURA, T. P.; JULIO, G. S. da C.; CORTEZZI, P. P.; FIGUEIREDO, L. G.; FAVERO, G. C.; PALHETA, G. D. A.; MELO, N. F. A. C. de; LUZ, R. K. **Growth Performance and Physiological Parameters of *Colossoma macropomum* in a Recirculating Aquaculture System (RAS): Importance of Stocking Density and Classification.** *Aquaculture*, 534(104): 736274, 2021a. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.736274

SANTOS, R. B. dos; IZEL-SILVA, J.; FUGIMURA, M. M. S.; SUITA, S. M.; ONO, E. A.; AFFONSO, E. G. **Growth performance and health of juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*, in a biofloc system at different stocking densities.** *Aquaculture Research*, 00: 1-11, 2021b. DOI: 10.1111/are.15196

SANTOS, V. A. dos; LOURENÇO, C. B.; MALCHER, C. S.; TRINDADE, G. V.; ARAUJO, R. F.; LOBÃO, R. A. **Relação peso-comprimento e fator de condição relativo do tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) em cativeiro utilizando a massa de mandioca como alimento alternativo.** *Boletim Técnico Científico do CEPNOR*, 15(1): 09-13, 2015. DOI: 10.17080/1676-5664/btcc.v15n1p9-13

SANTOS, L. R. B. dos & OBA, E. T. **Dieta: ferramenta importante para o manejo dos peixes em cultivo.** In: TAVARES-DIAS, M. (Org.) *Manejo e sanidade de peixes em cultivo*. Macapá: Embrapa Amapá, p. 89-105, 2009.

SANTOS, E. L.; SOARES, A. C. L.; TENÓRIO, O. L. D.; SOARES, E. C.; SILVA, T. J.; GUSMÃO-JÚNIOR, L. F.; SANTOS, E. L. **Desempenho de tambaquis (*Colossoma macropomum*) submetidos a restrição alimentar e a realimentação em tanques-rede.** *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 70(3): 931-938, 2018. DOI: 10.1590/1678-4162-9891

SCAPIM, J. & BASSANEZI, R. C. **Modelo de von Bertalanffy generalizado aplicado às curvas de crescimento animal.** *Biomatemática*, 18: 1-14, 2008.

SHERUBINI, N. R. P. **Densidades y niveles de suministros de alimento en el cultivo de cachama *Colossoma macropomum* (Cuvier) 1818.** *Bioagro*, 2(1): 7-26, 1982.

SILVA, C. A. da. **Productive performance of tambaqui *Colossoma macropomum* in cages in northeast of Brazil.** In: *European Aquaculture Society*. Netherlands: Aquaculture Europe 2015, pp. 749-750, 2015.

SILVA, A. C. C.; BARROS, A. F. de; MENDONÇA, F. M. F.; GAMA, K. F. da S.; MARCOS, R.; POVH, J. A.; FORNARI, D. C.; HOSHIBAM, A.; ABREU, J. S. de. **Performance and economic viability of tambaqui, *Colossoma macropomum*, selectively bred for weight gain.** *Acta Amazonica*, 50(2): 108-114, 2020a. DOI: 10.1590/1809-4392201901992

SILVA, W. de S. e; FERREIRA, A. L.; NEVES, L. do C.; FERREIRA, N. S.; PALHA, G. D. A.; TAKATA, R.; LUZ, R. K. **Effects of stocking density on survival, growth and stress resistance of juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*) reared in a recirculating aquaculture system (RAS).** *Aquaculture International*, 29: 609-621, 2021. DOI: 10.1007/s10499-021-00647-z

SILVA, C. A. da & FUJIMOTO, R. Y. **Crescimento de tambaqui em resposta a densidade de estocagem em tanques-rede.** *Acta Amazonica*, 45(3): 323-332, 2015. DOI: 10.1590/1809-4392201402205

SILVA, C. R.; GOMES, L. C.; BRANDÃO, F. R. **Effect of feeding rate and frequency on tambaqui (*Colossoma macropomum*) growth, production and feeding costs during the first growth phase in cages.** *Aquaculture*, 264(1-4): 135-139, 2007. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.12.007

SILVA, A. M.; GOMES, L. de C.; ROUBACH, R. **Growth, yield, water and effluent quality in ponds with different management during tambaqui juvenile production.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(5): 733-740, 2007. DOI:10.1590/S0100-204X2007000500017

SILVA, A. D. R. da; SANTOS, R. B. dos; BRUNO, A. M. da S. S.; SOARES, E. C. **Cultivo de tambaqui em canais de abastecimento sob diferentes densidades de peixes.** *Acta Amazonica*, 43(4): 517-524, 2013. DOI: 10.1590/S0044-59672013000400014

SILVA, A. B. da; SANTOS, E. P.; MELLO, J. T. C.; SOBRINHO, A. C.; MELLO, F. R. **Análise quantitativa de um ensaio em piscicultura intensiva de tambaqui, *Colossoma macropomum***. *Ciência e Cultura*, 36(1): 464-466, 1984.

_____. **Análise quantitativa de um ensaio em piscicultura intensiva de tambaqui, *Colossoma macropomum***. *Ciência e Cultura*, 36(1): 82-86, 1984.

SILVA, G. F.; SHIOTSUKI, L.; DIAS, L. T.; TEIXEIRA, R. A. **Estimation of genetic parameters for weight and length gains in tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. *Brazilian Journal of Biology*, 83: e277423, 2023. DOI: 10.1590/1519-6984.277423

SILVA, E. C. C. da; SIQUEIRA, A. M. de A.; SILVA, A. F. da; FUGIMURA, M. M. S.; VAZ, L. J. **Efeito da utilização de três diferentes rações comerciais na produção de tambaqui (*Colossoma macropomum*): qualidade de água e desempenho zootécnico**. *Agroecossistemas*, v. 12, n. 2, p. 90-101, 2020b.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; GOMES, J. P. F.; BRAGA, F. M. de S. **Effect of liming management on the water quality in *Colossoma macropomum* (“Tambaqui”) ponds**. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 15(3): 95-103, 2003.

SOUZA-BASTOS, L. R.; VAL, A. L.; WOOD, C. M. **Are Amazonian fish more sensitive to ammonia? Toxicity of ammonia to eleven native species**. *Hydrobiologia*, 789(1): 143-155, 2017. DOI: 10.1007/s10750-015-2623-4

SOUSA, R. G. C.; PIÑEYRO, J. I. G.; CARDOSO, N. A.; ANDRADE, J. E.; SILVA, J. G. da; BARBOSA, H. T. B. **Stocking density and its effects to the zootechnical development of young tambaqui in an intensive production system**. *Acta of Fisheries and Aquatic Resources*, 4(1): 80-92, 2016a. DOI: 10.2312/ActaFish.2016.4.1.80-92

SOUSA R. G. C.; PRADO G. F.; PYÑEIRO J. I. G.; NETO E. B. B. **Avaliação do ganho de peso do tambaqui cultivado com diferentes taxas de proteínas na alimentação**. *Biota Amazônia*, 6(1): 40-45, 2016b. DOI: 10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v6n1p40-45

SOUSA, R. G. C.; ROCHA, M. M. da; PONTUSCHKA, R. B. **Effects of mechanical aeration on tambaqui farming (*Colossoma macropomum*) in excavated tanks**. *Acta of Fisheries and Aquatic Resources*, 5(3): 122-128, 2017. DOI: 10.2312/ActaFish.2017.5.3.122-128

SOUZA, R. A. L. de; CASTRO FILHO, B. O. de; RODRIGUES, M. de J. J.; PERET, A. C.; TEIXEIRA, R. N. G. **Crescimento do tambaqui, *Colossoma macropomum*, (Cuvier, 1818) (Pisces – Characidae) em cativeiro, utilizando raspas de mandioca como alimento**. *Boletim da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará*, n. 29, p. 23-31, 1998.

SOUZA, R. A. L. de; PERET, A. C.; MELO, J. S. C. de; RODRIGUES, M. de J. J. **Desenvolvimento do tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier) (Pisces, Characidae) criado em várzea no rio Guamá, Estado do Pará, Brasil.** *Boletim Técnico do CEPTA*, v. 13, p. 11-21, 2000.

SOUZA, E. S.; PONTUSCHKA, R. B.; SOUSA, R. G. C. **Viabilidade econômica do uso de aerador para o cultivo semi-intensivo de tambaqui em tanques escavados.** *Revista Desafios*, 4(1): 1-12, 2017. DOI: 10.20873/uft.2359-3652.2017v4n1p50

SOUZA, A. da S. L. de; SOUZA, R. A. L. de; MELO, N. F. A. C. de; ROCHA, C. P.; SILVA, R. S.; BRABO, M. F. **Crescimento do Tambaqui (*Colossoma macropomum*) Utilizando Massa da Mandioca (*Manihot esculenta*) Branca como Alimentação Suplementar.** *Boletim Técnico-Científico do CEPNOR*, 12(1): 35-44, 2012.

SOUZA, A. da S. L.; SOUZA, R. A. L. de; PERET, A. C.; MELO, N. F. A. C. de; RODRIGUES FILHO, J. L. **Effect of Organic and Chemical Fertilizers on the Growth Rate of Tambaqui Fish (*Colossoma macropomum*) (Pisces; Characidae) in Floodplain Fish Ponds in the Eastern Amazon, Pará State, Brazil.** *Boletim Técnico Científico do CEPNOR*, 12(1): 55-62, 2013. DOI: 10.17080/1676-5664/btcc.v13n1p55-62

TAVARES-DIAS, M.; MARCON, J. L.; LEMOS, J. R. G.; FIM, J. D. I.; AFFONSO, E. G.; ONO, E. A. **Índices de condição corporal em juvenis de *Brycon amazonicus* (Spix & Agassiz, 1829) e *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) na Amazônia.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 34(2): 197-204, 2008.

TAVARES-DIAS, M.; MARTINS, M. L.; MORAES, F. R.; KRONKA, S. N. **Fator de condição e relação hepato e esplênossomática em teleósteos de água doce naturalmente parasitados.** *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, 22(2): 533-537, 2000. DOI: 10.4025/actascibiolsoci.v22i0.2944

VAL, A. L. & OLIVEIRA, A. M. de. ***Colossoma macropomum* – A tropical fish model for biology and aquaculture.** *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 335(9-10), 761-770, 2021. DOI: 10.1002/jez.2536

VALENTI, W. C.; BARROS, H. P.; MORAES-VALENTI, P.; BUENO, G. W.; CAVALLI, R. O. **Aquaculture in Brazil: Past, present and future.** *Aquaculture Reports*, 19: 100611, 2021. DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100611

VERMA, D. K.; SATYAVEER, S.; MAURYA, N. K.; KUMAR, P.; JAYASWA, R. **Important Water Quality Parameters in Aquaculture: An Overview.** *Aquaculture & Environment*, 3(3): 24-29, 2022.

VERÔNICA, D. R.; MARTANINGRUM, E. T.; LOKAPIRNASARI, W. P. **The inclusion of moringa leaf extract fermentation in commercial feed to enhance feed conversion ratio and specific growth rate of tambaqui fish, *Colossoma macropomum***. *The 3rd International Conference on Fisheries and Marine Sciences IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 718: 012079, 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/718/1/012079

VERSCHUERE, L.; ROMBAUT, G.; SORGELOOS, P.; VEERSTRAETE, W. **Probiotic bacteria as biological control agents in Aquaculture**. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64(4): 655-671, 2000.

VIEIRA, J. L. M. **Nutrição do tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818) na região norte do Brasil**. *Revista DELOS – Desarrollo Local Sostenible*, 11(32): 1-12, 2018.

VIEIRA, E. F.; ISAAC, V. J.; FABRÉ, N. N. **Biologia reprodutiva do tambaqui, *Colossoma macropomum* Cuvier, 1818 (Teleostei: Serrasalmidae), no Baixo Amazonas, Brasil**. *Acta Amazonica*, 29(4): 625-638, 1999.

VIEIRA, B. B. & PEREIRA, E. P. **Potencial dos probióticos para o uso na aquicultura**. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 14, n. 2, p. 1223-1241, 2016.

VILELA, M. C.; ARAÚJO, K. D. de; MACHADO, L. de S.; MACHADO, M. R. R. **Análise da viabilidade econômico-financeira de projeto de piscicultura em tanques escavados**. *Custos e @gronegocio online*, v. 9, n. 3, p. 154-173, 2013.

VILLACORTA-CORREA, M. A. & SAINT-PAUL, U. **Structural indexes e sexual maturity of tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818) (Characiformes: Characidae), in central Amazon, Brazil**. *Brazilian Journal of Biology*, 59(4): 637-652, 1999.

WALFORD, L. A. **A new graphic method of describing the growth of animals**. *The Biological Bulletin*, 90(2): 141-147, 1946. DOI: 10.2307/1538217

WEATHERLEY, A. H. & GILL, H. S. *The biology of fish growth*. London: Academic Press, 443p, 1987.

WOOD, C. M.; GONZALES, R. J.; FERREIRA, M. S.; BRAZ-MOTA, S.; VAL, A. L. **The physiology of the Tambaqui (*Colossoma macropomum*) at pH 8.0**. *Journal of Comparative Physiology B*, 188: 393-408, 2018. DOI: 10.1007/s00360-017-1137-y

WOOD, C. M.; SOUZA NETTO, J. G. de; WILSON, J. M.; DUARTE, R. M.; VAL, A. L. **Nitrogen metabolism in tambaqui (*Colossoma macropomum*), a neotropical model teleost: hypoxia, temperature, exercise, feeding, fasting, and high environmental ammonia**. *Journal of Comparative Physiology B*, 187: 135-151, 2017. DOI: 10.1007/s00360-016-1027-8

WOOD, C. M.; WILSON, R. W.; GONZALEZ, R. J.; PATRICK, M. L.; BERGMAN, H. L.; NARAHARA, A.; VAL, A. L. **Responses of na Amazonian teleost, the tambaqui (*Colossoma macropomum*), to low pH in extremely soft water.** *Physiological Zoology*, 71(6): 658-670, 1998. DOI: 10.1086/515977

XU, C.; SU, G.; BROSSE, S.; ZHAO, K.; ZHANG, M.; XU, J. **Social benefits and environmental performance of aquaculture need to improve worldwide.** *Communications Earth & Environment*, 5:698, 2024. DOI: 10.1038/s43247-024-01790-0

ZHANG, K.; YE, Z.; QI, M.; CAI, W.; SARAIVA, J. L.; WEN, Y.; LIU, G. **Water Quality Impact on Fish Behavior: A Review From an Aquaculture Perspective.** *Reviews in Aquaculture*, 0: 1-27, 2024. DOI: 10.1111/raq.12985

ZHU, D.; CHENG, X.; SAMPLE, D. J.; YAZDI, M. N. **Effect of intermittent aeration mode on nitrogen concentration in the water column and sediment pore water of aquaculture ponds.** *Journal of Environmental Sciences*, 90: 331-342, 2020. DOI: 10.1016/j.jes.2019.11.022

CAPÍTULO III

EFEITO DA INTENSIFICAÇÃO SOBRE A VIABILIDADE ECONÔMICA DA PISCICULTURA COMERCIAL DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*)

EFEITO DA INTENSIFICAÇÃO SOBRE A VIABILIDADE ECONÔMICA DA PISCICULTURA COMERCIAL DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*)

EFFECT OF INTENSIFICATION ON THE ECONOMIC VIABILITY OF COMMERCIAL TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*) FISH FARMING

LIMA, Carlos André Silva^{a,b}; LAVAREDA, Adria de Souza^b; GONZAGA JR, Marcondes Agostinho^c; CRESCÊNCIO, Roger^d; PANTOJA-LIMA, Jackson^e; YAMAMOTO, Kedma Cristine^b

^aInstituto de Proteção Ambiental do Amazonas – IPAAM, Manaus, AM, Brasil.

^bUniversidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus, AM, Brasil.

^cUniversidade Federal de Rondônia – UNIR, Porto Velho, RO, Brasil.

^dEmbrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, Brasil.

^eInstituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, Presidente Figueiredo, AM, Brasil.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho econômico do cultivo do tambaqui (*Colossoma macropomum*) para engorda (> 2 kg) sob três estratégias de intensificação em nove pisciculturas de tanques escavados, classificadas em: *Baixa Eficiência Produtiva (BEP)* – 6 a 8 t ano⁻¹ sem aeração; *Média Eficiência Produtiva (MEP)* – 9 a 14 t ano⁻¹ com aeração emergencial e *Alta Eficiência Produtiva (AEP)* – 15 a 22 t ano⁻¹ com aeração suplementar. Informações de desempenho zootécnico e índices de produção foram coletados nas fazendas para as avaliações. Dados sobre estratégias de gerenciamento e programas de gestão implementados pelos piscicultores também foram levantados. Valores de investimentos e custos para implantação e operacionalização das pisciculturas foram relacionados e estimados. Adotou-se a estrutura do custo operacional para os cálculos dos indicadores de eficiência da rentabilidade dos empreendimentos, obtidos através de um fluxo de caixa anual. Os indicadores de viabilidade utilizados foram o Índice de Rentabilidade (IR), Índice de Lucratividade (IL), Relação Benefício-Custo (RBC), Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna e Retorno (TIR) e Período de Recuperação do Capital (PRC). Os resultados mostram que as fazendas apresentam características distintas entre as categorias de cultivo, relacionadas à estocagem, densidade e produtividade. Pisciculturas de *BEP*, tiveram menor densidade (2.919,64 – 2.963,14 peixes ha⁻¹) e consequentemente pior produtividade (6.138,86 kg – 6.413,15 kg ha⁻¹ ano) entre as estratégias. Investimentos dos empreendimentos variaram entre R\$ 1.357.300,00 e R\$ 3.874.225,00, sendo o maior dispêndio realizado com viveiros e captação de água (48,54 – 63,44%). Os custos operacionais calculados ficaram entre R\$ 346.664,18 e R\$ 3.450.835,90, com os insumos produtivos representando a maior participação (76,28 – 93,66%). Pisciculturas de *AEP* indicaram maior volume financeiro gerado (R\$ 2.566.712,92 – R\$ 5.143.610,88 ciclo⁻¹) pela alta produção de pescado, onde após os descontos, o lucro sobre o custo operacional efetivo variou de R\$ 217.042,52 (R\$ 5,01 kg⁻¹) a R\$ 1.794.775,00 ciclo⁻¹ (R\$ 6,02 kg⁻¹). Dois empreendimentos de *BEP* apresentaram lucro sobre o custo total de produção negativo de -R\$ 94.264,01 (-R\$ 2,17 kg⁻¹) e -R\$ 92.303,58 ciclo⁻¹ (-R\$ 2,08 kg⁻¹), o que afetou os valores de IR (-5,88 – -6,01%) e IL (-15,98 – -16,72%). O VPL, que variou de -R\$ 1.833.023,63 a R\$ 1.694.745,11, apontou retorno negativo em todos os empreendimentos de *BEP* e em dois de *MEP*. Já a TIR apresentou atratividade, com valor acima da taxa mínima, em uma piscicultura de *MEP* (19,36%) e duas de *AEP* (14,66% e 22,54%), tendo a melhor alcançado um PRC de 3,86 anos. O cultivo do tambaqui em viveiros escavados apresenta grande relação entre a estratégia de intensificação e o desempenho produtivo e econômico da atividade, podendo esta ser considerada uma medida determinante para a redução dos riscos no agronegócio.

Palavras-chave: Intensificação, lucro, viabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O aumento da produção aquícola mundial e o reconhecimento do Brasil no âmbito do potencial produtivo devido suas características, como potencial hídrico e condições climáticas favoráveis, tem impulsionado o crescimento da atividade em nível nacional (NOBILE *et al.*, 2020; GARCEZ *et al.*, 2021). Nesse contexto, o tambaqui (*Colossoma macropomum*) tem se destacado, se tornando a principal espécie nativa produzida no país, com valor estimado em 113,6 mil toneladas e volume de comercialização de R\$ 1,24 bilhão em 2023 (IBGE, 2024).

Na região norte do Brasil a espécie já se consolidada como a mais cultivada, influenciando o crescimento da cadeia produtiva brasileira também pela contribuição de outras regiões, como a centro-oeste e sul (NOBILE *et al.*, 2020; VALENTI *et al.*, 2021; ARAÚJO *et al.*, 2024; MIKKOLA, 2024). Essa relevância se deve às suas características zootécnicas e de adaptabilidade, como a facilidade na aquisição de alevinos, grande rusticidade e adaptabilidade aos sistemas de cultivo, boa conversão alimentar e a ótima aceitação do mercado consumidor (PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; MORAIS & O’SULLIVAN, 2017; PENHA *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018; VAL & OLIVEIRA, 2021; ARAÚJO *et al.*, 2024; MIKKOLA, 2024).

Apesar do seu protagonismo, o tambaqui, enfrenta desafios consideráveis para ser considerado o principal peixe comercial brasileiro. Há uma constante necessidade de aumento da produção para atender à crescente demanda, ao mesmo tempo em que se busca maior competitividade de mercado, que exige produtos de maior qualidade a preços acessíveis (PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2018). A pressão por eficiência produtiva e rentabilidade é um fato decisivo para a inovação e a busca por sistemas mais eficazes (LIMA *et al.*, 2020; BUENO *et al.*, 2021).

O cultivo de tambaqui ainda é limitado pela existência de grandes gargalos (PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; BELCHIOR & DALCHIAVON, 2017; LIMA *et al.*, 2020). Muitos sistemas operam com baixa eficiência, reflexo direto da falta de tecnologias adequadas e de técnicas de manejo aprimoradas (PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; LIMA *et al.*, 2020; GARCEZ *et al.*, 2021). Essa deficiência se manifesta em menores taxas de crescimento, pior conversão alimentar e, conseqüentemente, em ciclos de produção mais longos (COSTA *et al.*, 2018).

A baixa produtividade, a falta de infraestrutura no fornecimento de insumos, restrições legais e dificuldades no apoio governamental também tem representado um grande entrave econômico para o setor (VILELA *et al.*, 2013; BUENO *et al.*, 2021; ARAÚJO *et al.*, 2024). Fatores como a má qualidade da água, inadequação nutricional e ocorrência de doenças também tem impactado diretamente a viabilidade dos empreendimentos, causando perdas substanciais (SILVA-GOMES *et al.*, 2017; HURTADO *et al.*, 2018; NOBILE *et al.*, 2020).

Economicamente, a piscicultura do tambaqui lida com dificuldades relacionadas à custos de produção elevados, principalmente advindos da alimentação e mão-de-obra, que combinada aos menores preços de comercialização, pressionam as margens de lucro dos piscicultores (PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; BELCHIOR & DALCHIAVON, 2017; LIMA *et al.*, 2020; GARCEZ *et al.*, 2021). Sem mecanismo de otimização e inovação, esses custos podem inviabilizar a atividade, tornando o pescado produzido menos competitivo em relação a outras espécies e fontes de proteína animal (PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016).

A superação dos entraves da aquicultura passa, inevitavelmente, pela intensificação dos sistemas de cultivo (FERRI *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; HILSDORF *et al.*, 2021; ARAÚJO *et al.*, 2024). Essa estratégia produtiva, que envolve o aumento da densidade de estocagem e a otimização dos recursos utilizados, exige, por sua vez, a aplicação de potenciais tecnológicos que suportem o manejo mais exigente (FERRI *et al.*, 2018; BOYD *et al.*, 2020; HILSDORF *et al.*, 2021). Consequentemente, custos adicionais com especialização técnica e aquisição de equipamentos devem ser contabilizados para sua viabilização (BUENO *et al.*, 2021; HILSDORF *et al.*, 2021).

O potencial da tecnologia como ferramenta para impulsionar o setor é vasto. Estratégias como a recirculação de água (RAS) (FERRI *et al.*, 2018; ASSIS *et al.*, 2020; HENARES *et al.*, 2020; BUENO *et al.*, 2021; SILVA *et al.*, 2021), bioflocos (BFT) (FERRI *et al.*, 2018; HENARES *et al.*, 2020; BUENO *et al.*, 2021; SANTOS *et al.*, 2021; CAMPANATI *et al.*, 2022; MONTELO *et al.*, 2024), aeração e monitoramento em tempo real dos parâmetros ambientais (FERRI *et al.*, 2018; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; BUENO *et al.*, 2021; COSTA *et al.*, 2022; LI *et al.*, 2025), permitem criar ambientes de cultivo mais controlados e otimizados, elevando a eficiência e a produtividade por unidade de área (CREPALDI *et al.*, 2006; FERRI *et al.*, 2018; BOYD *et al.*, 2020; BUENO *et al.*, 2021; MEANTE *et al.*, 2021; LI *et al.*, 2025).

A intensificação, quando aplicada corretamente, também se alinha com o conceito de sustentabilidade (VALENTI *et al.*, 2018; BOYD *et al.*, 2020). Ao otimizar o uso da água e espaço, reduzir a geração de efluentes e melhorar a conversão alimentar, a tecnologia contribui para uma aquicultura mais eficiente em termos de recursos e com menor impacto ambiental (BOYD *et al.*, 2020; CAMPANATI *et al.*, 2022).

Diante desse cenário, este artigo propõe investigar o efeito da intensificação sobre a viabilidade econômica da piscicultura comercial do tambaqui, buscando analisar como a adoção de diferentes estratégias de eficiência produtiva, influenciada pela aplicação de tecnologias e boas práticas de manejo, impacta a produtividade e, consequentemente, os custos de produção, a rentabilidade e a viabilidade dos empreendimentos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido em empreendimentos de piscicultura de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em viveiros de terra firme localizados na Região Metropolitana de Manaus (RMM), situado no estado do Amazonas e inserido em zona equatorial na Amazônia Central (Figura 01).

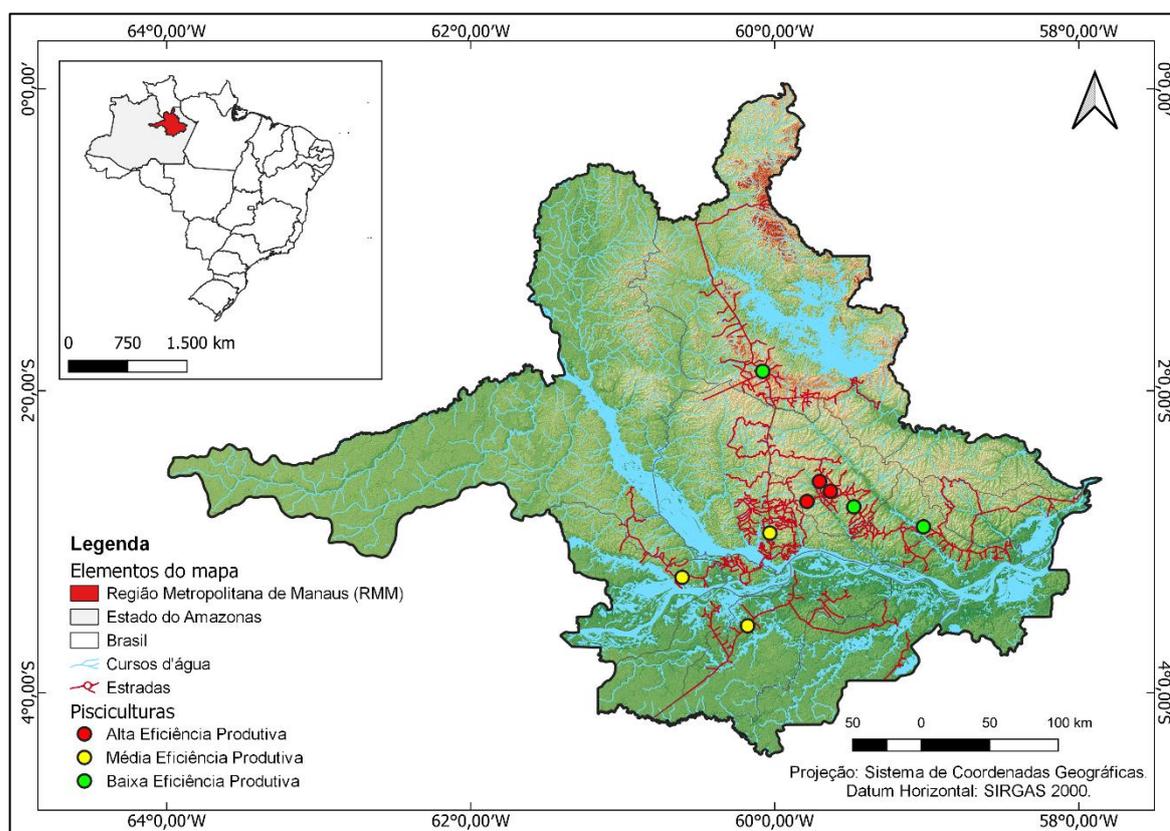


Figura 01. Área de estudo com localização dos empreendimentos selecionados.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Pertencente à região norte do Brasil e situado em zona equatorial na Amazônia Central, o estado possui clima tropical, que pelas condições ambientais favoráveis, aliadas as características da espécie, apresenta forte potencial para produção nesta modalidade de criação (GANDRA, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2012; PANTOJA-LIMA *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2020; HILSDORF *et al.*, 2021; MORAES *et al.*, 2021).

2.2. LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES PRODUTIVAS

Nove piscicultura operacionais do tambaqui em terra firme foram avaliadas economicamente quanto a três estratégias de intensificação: *Baixa Eficiência Produtiva (BEP)* – 6-8 t ha⁻¹ sem aeração; *Média Eficiência Produtiva (MEP)* – 9-14 t ha⁻¹ com aeração emergencial (quando O₂ < 3,0 mg L⁻¹); *Alta Eficiência Produtiva (AEP)* – 15-22 t ha⁻¹ com aeração suplementar (noturna) contínua (para O₂ > 3,0 mg L⁻¹) (IZEL & MELO, 2004; CREPALDI *et al.*, 2006; CAVERO *et al.*, 2009; IZEL *et al.*, 2013; BARÇANTE & SOUZA, 2015; MORAIS & O’SULLIVAN, 2017; COSTA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2019; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020).

Foram observados os seguintes critérios para seleção das fazendas: *i)* Empreendimentos classificados como de médio/grande porte¹; *ii)* Estratégia de monocultivo do tambaqui em escala comercial; *iii)* Produção em sistema bifásico, com alevinagem/recrta (0 – 350 g) entre 40 a 90 dias e engorda/terminação (350 – 3.000 g) entre 330 a 380 dias; *iv)* Uso exclusivo de rações comerciais extrusadas com teores de proteína bruta, granulometria, frequência alimentar e taxa de administração realizadas conforme a fase de crescimento e *v)* Realização de despesca total dos tanques e venda dos pescado *in natura* nas fazendas (CAVERO *et al.*, 2009; MARINHO-PEREIRA *et al.*, 2009; BARÇANTE & SOUZA, 2015; PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; MORAIS & O’SULLIVAN, 2017; BUENO *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2022).

A avaliações das pisciculturas considerou a coleta das informações de desempenho zootécnico e índices relacionados ao tempo de cultivo (dias), peso inicial e final dos peixes (g), quantidade inicial, biomassa inicial e final (kg), estocagem inicial e final (peixes ha⁻¹), densidade inicial e final (kg ha⁻¹), produtividade (kg ha⁻¹ ano), conversão alimentar aparente e mortalidade (%) (BARROS & MARTINS, 2012; VILELA *et al.*, 2013; FEITOZA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2018; BARROS *et al.*, 2020; MONTELO *et al.*, 2024).

Dados sobre estratégias de gerenciamento e programas de gestão implementados pelos piscicultores também foram levantados para as descrições e análises de fluxos de produção e obtenção de informações sobre o consumo de recursos (insumos) e forma de utilização da infraestrutura disponível, posteriormente aproveitados nos cálculos de custos de produção dos empreendimentos (DANTAS-FILHO, 2017; LIMA *et al.*, 2018; CASTRO *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2020; MEANTE *et al.*, 2021; FERREIRA *et al.*, 2021).

¹ Porte das pisciculturas em viveiros escavados classificado conforme critério da área de lâmina d’água, com a definição das seguintes classes: Pequeno: < 5,0 hectares; Médio: 5 a 50 hectares e Grande: > 50,0 hectares, de acordo com a Resolução CONAMA N° 413/2009 (CONAMA, 2009).

2.3. OBTENÇÃO DE DADOS ECONÔMICOS

2.3.1. Dados de investimento

Os investimentos, representados pelo desembolso para implantação das pisciculturas, foram obtidos por meio de levantamento patrimonial, posteriormente classificados e distribuídos entre as seguintes categorias: *a*) Viveiros e captação de água (escavação, sistema de captação de água e drenagem de água, gramagem, etc.); *b*) Edificações, construções e benfeitorias (depósitos, residências, estradas internas, etc.); *c*) Máquinas, veículos e equipamentos (bomba, aeradores, veículos, etc.); *d*) Ferramentas e utensílios (balança, kit de análise de água, rede de arrastos, etc.), e *e*) Projeto e regularização (estudos, taxas, licenças, treinamentos, etc.) (VILELA *et al.*, 2013).

Todos os itens foram inventariados de acordo com a infraestrutura de produção utilizada efetivamente na atividade e os cálculos realizados conforme especificações técnicas do bem, como a quantidade, o tempo de utilização e estado de conservação, a vida útil, a forma de emprego e a exigência de serviços especializados de operação e manutenção do equipamento nas pisciculturas. Os valores de investimentos na implantação de cada empreendimento foram atualizados para o período de dezembro de 2024 e a estimativa realizada pelo desembolso para aquisição do bem de capital realizada no mercado local ou com preço de origem fora da região acrescido de frete (BARROS & MARTINS, 2012).

2.3.2. Dados de custos

Para determinação de itens de custos foram levantados todos os itens de operacionalização (processos de produção) das fazendas que entram direta ou indiretamente na engorda dos peixes, de acordo com procedimentos aplicados por Vilela *et al.* (2013) e Costa *et al.* (2020). Os cálculos foram estruturados conforme metodológica de custo operacional proposta por Matsunaga (1976), sendo utilizados o Custo Operacional Efetivo (COE), o Custo Operacional Total (COT) e o Custo Total de Produção (CTP).

O COE foi definido como todos os dispêndios com insumos, mão-de-obra, manutenção e conservação, serviços, impostos e taxas. O COT foi estabelecido como a soma do COE com depreciação, e o CTP incluiu além do COT, a remuneração do investimento, a remuneração do empresário e os juros sobre capital circulante (custeio) para um ciclo de produção.

Os custos com insumos foram alocados na aquisição de produtos, sendo os itens calculados com base na quantidade efetiva utilizada em cada empreendimento, com gastos aplicados em alevinos, rações, corretivos, fertilizantes, medicamentos, energia elétrica, combustíveis e lubrificantes, além de despesas administrativas com materiais de consumo, sendo este último estimado em 3,0% sobre o valor da soma dos demais insumos.

A quantidade de mão-de-obra foi considerada como a fixa e temporária contratada para execução das tarefas braçais de acordo com a realidade de cada empreendimento. O valor da mão-de-obra fixado foi definido pelo salário pago pelo piscicultor proporcional ao tempo de dedicação (período de trabalho) na atividade piscícola sobre outras ocupações existentes na propriedade. A temporária foi estabelecida pelo valor da diária na região, pago pela quantidade de dias trabalhados nas atividades de rotina e de caráter excepcional (limpezas, transferências de peixes, despesca, etc.).

Por não estarem disponibilizadas nas propriedades investigadas, as despesas com manutenção e conservação foram fixadas em 2,0% sobre o investimento, para execução de atividades de limpezas, consertos, recuperações e reformas, de acordo com estimativas realizadas por Scorvo Filho *et al.* (2004). Os valores de serviços foram incluídos para pagamento mensal na contratação de assistência técnica administrativa especializada e gastos laboratoriais em análises e laudos ambientais.

O desembolso para pagamento de impostos e taxas, ficou definido pelos custos com encargos trabalhistas, estimado em 45,59% sobre o salário, conforme metodologia aplicada pela CONAB (2010, 2020); Imposto Territorial Rural (ITR), com valor proporcional à área da propriedade e alíquota estabelecida na legislação vigente (BRASIL, 1996); remuneração da terra, correspondendo à metade do percentual (%) de rendimento anual da poupança incidido sobre o Valor da Terra Nua (VTN) do imóvel (desprovida de benfeitorias) declarado pelo piscicultor, e a Contribuição Especial de Seguridade Social Rural (C.E.S.S.R.) para um ciclo de produção, estimada em 1,5% sobre a receita (bruta) proveniente da comercialização da produção (BRASIL, 1991; 1997; 2001; 2018).

Os gastos com depreciação para substituição dos bens de capital (investimento) foram calculados pelo método linear, considerando o valor de sucata (residual) igual a zero e estimativa de vida útil de referência definidos por Izel & Melo (2004), Scorvo Filho *et al.* (2004) e Barros *et al.* (2016). A remuneração do investimento foi considerada pelo custo de oportunidade com aplicação financeira alternativa em renda fixa², estabelecida em 12,81% ao

² Referente as Letras Financeiras do Tesouro Nacional (Títulos Públicos), com rendimento pós-fixado indexado à Taxa SELIC acumulada (100% da taxa do período).

ano sobre o capital fixo médio (SCORVO FILHO *et al.*, 2004). A remuneração do empresário foi fixada em meio salário mínimo para cada 5,0 ha de área alagada administrada (SCORVO FILHO *et al.*, 2004, BARROS *et al.*, 2016). Os juros sobre o custeio (capital circulante) foram estabelecidos pela taxa de 8,50% ao ano para financiamento do crédito de custeio rural.

Os valores para os cálculos de custos foram levantados levando-se em consideração as condições atuais de operacionalização para execução do ciclo de produção mais recente, com preços e respectivas quantidade atualizados até dezembro de 2024, conforme o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA (CASTRO *et al.*, 2020), estimados em reais (R\$) ou convertidos para a referida moeda corrente vigente no Brasil.

2.4. ANÁLISE ECONÔMICA DAS PISCICULTURAS

2.4.1. Indicadores de rentabilidade

Os indicadores de eficiência econômica foram obtidos pela rentabilidade dos empreendimentos, gerada através de um fluxo de caixa anual com o lançamento de valores de entrada e saída para obtenção dos ganhos, representada pela equação 1:

$$L = R - C \quad (1)$$

Onde: L o lucro em reais (R\$), R a receita em reais (R\$) e C o custo de produção em reais (R\$), sendo utilizado nos cálculos o COE, COT ou CTP separadamente, conforme métodos descritos por Barros (2020) e Castro *et al.* (2020).

A receita foi calculada através da **Receita Bruta (RB)**, que representa todo o capital de entrada (arrecadado) do empreendimento em reais (R\$) no período através do produto da produção pelo preço unitário, através da equação 2:

$$RB = Q \cdot P_{peixe} \quad (2)$$

Onde: Q é a quantidade de produção comercializada no período (ciclo ou anual) de pescado em quilogramas (kg) e P_{peixe} é o preço de venda do pescado no local da produção em reais por quilogramas (R\$ kg⁻¹).

Os valores de lucro foram obtidos por meio dos seguintes índices:

a) Lucro sobre o **COE** (**L_{COE}**) ou lucro líquido, que é o lucro do empreendimento em reais (R\$) após pagar os custos de produção, obtido através da equação 3:

$$L_{COE} = RB - COE \quad (3)$$

b) Lucro sobre o **COT** (**L_{COT}**) ou lucro operacional, que é o lucro do empreendimento em reais (R\$) após quitar os custos de produção e a depreciação, obtido através da equação 4:

$$L_{COT} = RB - COT \quad (4)$$

c) Lucro sobre o **CTP** (**L_{CTP}**) ou lucro líquido, que é o lucro do empreendimento em reais (R\$) após pagar os custos de produção, a depreciação, remunerar o investimento, o empresário e o custeio para o ciclo produtivo, através da equação 5:

$$L_{CTP} = RB - CTP \quad (5)$$

Onde a **RB** é a Receita Bruta em reais (R\$), o **COE** é o Custo Operacional Efetivo em reais (R\$), o **COT** é o Custo Operacional Total em reais (R\$) e o **CTP** é o Custo Total de Produção em reais (R\$).

2.4.2. Indicadores de viabilidade

Após levantamento da rentabilidade, foram realizadas as avaliações de eficiência econômica com uso de indicadores de viabilidade. Para obtenção dos índices, foi estabelecido um fluxo de caixa para as entradas (receitas) e saídas (despesas) em um horizonte de longo prazo, com período estimado em dez anos e aplicação de recurso integralmente no ano zero (FURLANETO & ESPERANCINI, 2009; SOUZA *et al.*, 2014; GUERREIRO *et al.*, 2015; BARROS *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2021; MEANTE *et al.*, 2021; BOTELHO *et al.*, 2022). Considerou-se este período, por se julgar que ao seu termino, são necessárias readequações nas infraestruturas físicas do empreendimento para reparos e manutenções (GUERREIRO *et al.*, 2015).

Para as avaliações foram selecionados os indicadores de viabilidades aplicados por Vilela *et al.* (2013), por se entender como amplamente aceitos e recomendados em análises de projetos aquícolas. Foram utilizados, portanto, os seguintes indicadores relacionados ao desempenho econômico:

a) **Índice de Rentabilidade (IR)**, que corresponde ao valor percentual (%) que mostra quanto do valor de lucro gerado por ano no fluxo de caixa corresponde ao capital investido em reais (R\$) por ano, obtido pela equação 6:

$$IR = \left(\frac{L}{I}\right) \cdot 100 \quad (6)$$

Onde: *L* é o lucro e *I* é o investimento.

b) **Índice de Lucratividade (IL)**, que indica o valor percentual (%) da receita obtida com a venda corresponde ao lucro em reais (R\$) por ano, obtido pela equação 7:

$$IL = \left(\frac{L}{R}\right) \cdot 100 \quad (7)$$

Onde: *L* é o lucro e *R* é a receita.

c) **Relação Benefício-Custo (RBC)**, que se refere ao valor em reais (R\$) que informa a relação de retorno financeiro entre quantidade de receita pelo custo, obtido pela equação 8:

$$RBC = \frac{R}{C} \quad (8)$$

Onde: *R* é a receita e *C* é o custo, podendo ser utilizado o COE, COT ou CTP.

d) **Valor Presente Líquido (VPL)**, que é um indicador do fluxo de caixa em reais (R\$) que reflete em dias atuais as receitas futuras de pagamento acumuladas, descontada a uma taxa de juros ou taxa mínima de atratividade definida para tempo do investimento, obtido pela equação 9:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (9)$$

Onde: FC é o fluxo de caixa, i é a taxa de juros percentual (desconto), t é período do fluxo de caixa e n é o número de períodos do fluxo de caixa (horizonte do projeto).

e) **Taxa Interna de Retorno (TIR)**, que permite analisar a viabilidade econômica do projeto no longo prazo, sendo a taxa de juros em valor percentual (%) que iguala em um único momento as entradas (receitas), obtido pela equação 10:

$$0 = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \quad (10)$$

Onde: I é o investimento no ano zero; FC é o Fluxo de caixa, t é período do fluxo de caixa em anos, n é o número de períodos do fluxo de caixa (horizonte do projeto) e TIR é a taxa interna de retorno.

f) **Período de Recuperação do Capital (PRC)**, que representa o tempo necessário em anos para que os lucros se igualam ao investimento, indicando sua recuperação, obtido pela equação 11:

$$PRC = \frac{I}{\sum_{t=1}^n FC_t} \quad (11)$$

Onde: I é o investimento em reais (R\$), FC é o fluxo de caixa, t é período do fluxo de caixa em anos, n é o número de períodos do fluxo de caixa.

3. RESULTADOS

3.1. CARACTERÍSTICAS DE PRODUÇÃO

Verifica-se pelos índices de desempenho, que as fazendas apresentam características distintas entre as categorias de cultivo adotadas, resultado das diferentes estratégias de intensificação sobre o desempenho na estocagem, densidade e produtividade (Tabela 01).

Tabela 01. Parâmetros de desempenho produtivo do tambaqui (*Colossoma macropomum*) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.

Itens ¹	Modelos Produtivos								
	Baixa Eficiência Produtiva			Média Eficiência Produtiva			Alta Eficiência Produtiva		
	B-01	B-02	B-3	M-01	M-02	M-3	A-01	A-02	A-03
AA	10,27	6,29	5,95	8,30	5,96	20,04	19,75	9,93	16,31
Tc	410	414	416	416	387	415	357	388	389
Ae	0,00	0,00	0,00	2,95	3,78	2,67	6,00	5,94	5,40
P _i	5,50	2,26	4,66	3,69	2,57	3,87	8,40	8,35	2,91
P _f	2.501,63	2.382,50	2.481,27	2.766,61	2.658,62	2.637,03	2.816,66	2.794,05	2.568,89
QP _i	30.100	18.800	17.550	40.300	29.650	97.350	140.600	70.700	116.200
QP _f	29.993	18.646	17.476	40.259	29.425	97.170	140.472	70.664	116.046
BP _i	165,40	42,00	81,70	148,55	76,05	376,74	1.181,04	590,35	337,68
BP _f	75.031,87	44.424,53	43.362,05	111.380,18	78.230,08	256.241,50	395.662,38	197.439,46	298.108,33
E _i	2.930,04	2.987,59	2.947,50	4.854,66	4.977,17	4.857,45	7.117,94	7.120,13	7.123,98
E _f	2.919,64	2.963,14	2.935,03	4.849,69	4.939,41	4.848,49	7.111,47	7.116,53	7.114,52
D _i	16,10	6,75	13,72	17,89	12,77	18,80	59,79	59,45	20,70
D _f	7.303,86	7.059,69	7.282,60	13.417,20	13.132,02	12.785,61	20.030,60	19.883,93	18.276,41
Pro	6.413,15	6.138,86	6.302,25	11.611,04	12.215,83	11.091,13	20.198,92	18.449,01	16.913,90
CAA	1,92	1,94	1,93	1,86	1,75	1,88	1,81	1,84	1,82
Mo	0,35	0,82	0,42	0,10	0,76	0,18	0,09	0,05	0,13

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

⁽¹⁾: AA = Área alagada (ha); Tc = Tempo de cultivo (dias); Ae = Taxa de aeração (cv ha⁻¹); P_i = Peso inicial (g); P_f = Peso final (g); QP_i = Quantidade inicial de peixes (un); QP_f = Quantidade final de peixes (un); BP_i = Biomassa inicial de peixes (kg); BP_f = Biomassa final de peixes (kg); E_i = Estocagem inicial de peixes (peixes ha⁻¹); E_f = Estocagem final de peixes (peixes ha⁻¹); D_i = Densidade inicial de peixes (kg ha⁻¹); D_f = Densidade final de peixes (kg ha⁻¹); Pro = Produtividade (kg ha⁻¹ ano); CAA = Conversão Alimentar Aparente; Mo = Mortalidade (%).

As pisciculturas de *AEP* apresentaram menores ciclos produtivos em relação as demais estratégias, com tempo de cultivo variando entre 357 a 389 dias. Resultados para taxa de aeração demonstram, porém, maior dispêndio com consumo energético (5,40 a 6,00 cv ha⁻¹), permitindo o aumento da quantidade de peixes estocados, que chegou a 140.472 unidades, e maior biomassa final, com até 395.662,38 kg ao final da produção (piscicultura A-01).

Indicadores de estocagem variaram de 2.919,64 a 2.963,14 peixes ha⁻¹ e densidade flutuou de 7.059,69 a 7.303,86 kg ha⁻¹ para *BEP*, influenciando no menor desempenho da produtividade, que foi do valor mínimo de 6.138,86 kg ha⁻¹ ao máximo de 6.413,15 kg ha⁻¹ ano de peixes ao final do ciclo.

A conversão alimentar aparente apresentou melhor resultado para a piscicultura M-02, pertencente à *MEP*, com 1,75 na relação de quilograma de ração convertido em biomassa. Já a mortalidade foi melhor para *AEP*, com valor de 0,05% para a piscicultura A-02 e pior para a piscicultura B-02 de *BEP*, com 0,82%.

3.2. RESULTADOS DE INVESTIMENTO

Os investimentos dos empreendimentos nos diferentes modelos produtos variaram entre R\$ 1.357.300,00 e R\$ 3.874.225,00, sendo o maior dispêndio com viveiros e captação de água, que flutuaram de R\$ 658.790,00 a R\$ 2.035.380,00, correspondendo ao valor de 48,54% e 63,44% dos totais levantados, respectivamente (Tabela 02).

Tabela 02. Investimento de cultivo do tabaqui (*Colossoma macropomum*) com diferentes níveis de eficiência produtiva na Amazônia Central.

Itens	Modelos Produtivos								
	Baixa Eficiência Produtiva			Média Eficiência Produtiva			Alta Eficiência Produtiva		
	B-01	B-02	B-3	M-01	M-02	M-3	A-01	A-02	A-03
1. Viveiros e captação de água	1.103.680,00	695.140,00	658.790,00	862.365,00	712.775,00	2.035.380,00	1.991.755,00	1.028.960,00	1.721.130,00
1.1. Levantamento topográfico ^{1:a}	123.275,00	75.510,00	71.450,00	99.615,00	71.485,00	240.495,00	237.035,00	119.155,00	195.735,00
1.2. Preparo de área, escavação e compactação ^{2:a}	843.665,00	516.785,00	488.990,00	681.745,00	489.235,00	1.645.905,00	1.622.210,00	815.470,00	1.339.550,00
1.3. Sistema de captação e drenagem (estrutura hidráulica) ^{3:a}	77.890,00	50.265,00	54.970,00	54.575,00	81.175,00	75.910,00	59.340,00	47.465,00	83.835,00
1.4. Gramagem ^{4:a}	56.350,00	50.080,00	40.880,00	23.930,00	68.380,00	70.570,00	70.670,00	44.370,00	99.510,00
1.5. Mobilização de máquinas e equipamentos ^{5:a}	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00	2.500,00
2. Edificações, construções e benfeitorias	559.600,00	403.050,00	426.700,00	527.250,00	469.700,00	577.450,00	1.107.150,00	514.150,00	786.150,00
2.1. Depósito/galpão (p/ insumos) ^{6:b}	71.250,00	57.000,00	61.750,00	71.250,00	66.500,00	80.750,00	85.500,00	42.750,00	190.000,00
2.2. Residências (sede ^{7:a} e funcionários ^{8:b})	182.900,00	148.800,00	167.400,00	244.900,00	232.500,00	182.900,00	251.100,00	213.900,00	238.700,00
2.3. Estradas internas ^{9:a}	33.750,00	28.750,00	18.750,00	36.250,00	18.750,00	38.750,00	125.000,00	33.750,00	71.250,00
2.4. Cercas ^{10:b}	13.200,00	15.000,00	7.800,00	12.600,00	7.200,00	7.800,00	10.800,00	9.000,00	10.200,00
2.5. Poço ^{11:a}	48.500,00	48.500,00	48.500,00	48.500,00	48.500,00	48.500,00	48.500,00	48.500,00	48.500,00
2.6. Rede elétrica ^{12:a}	210.000,00	105.000,00	122.500,00	113.750,00	96.250,00	218.750,00	586.250,00	166.250,00	227.500,00
3. Máquinas, veículos e equipamentos	186.000,00	254.000,00	258.000,00	308.540,00	610.940,00	566.440,00	741.960,00	589.440,00	767.900,00
3.1. Bomba hidráulica ^{13:c}	6.000,00	69.000,00	63.000,00	6.000,00	9.000,00	24.000,00	19.000,00	7.000,00	74.000,00
3.2. Gerador de energia ^{14:d}	0,00	0,00	25.000,00	48.000,00	45.000,00	57.000,00	95.000,00	66.000,00	58.000,00
3.3. Aerador ^{15:e}	0,00	0,00	0,00	57.540,00	221.940,00	153.440,00	284.960,00	153.440,00	232.900,00
3.4. Alimentador e/ou caixa de transporte ^{16:d}	0,00	0,00	0,00	12.000,00	0,00	27.000,00	33.000,00	33.000,00	33.000,00
3.5. Veículo (utilitário) ^{17:d}	180.000,00	185.000,00	170.000,00	185.000,00	195.000,00	145.000,00	165.000,00	185.000,00	190.000,00
3.6. Trator ^{18:d}	0,00	0,00	0,00	0,00	140.000,00	160.000,00	145.000,00	145.000,00	180.000,00
4. Ferramentas e utensílios	15.810,00	9.205,00	8.990,00	22.925,00	22.880,00	22.950,00	25.460,00	26.450,00	26.890,00
4.1. Balança (pesagem) ^{19:d}	750,00	650,00	650,00	750,00	830,00	830,00	1.250,00	1.250,00	1.250,00
4.2. Kit de análise de água e oxímetro ^{20:e}	540,00	845,00	650,00	2.795,00	2.795,00	2.795,00	2.795,00	2.795,00	2.795,00
4.3. Canoa, carro-de-mão e roçadeira ^{21:e}	8.080,00	2.730,00	2.620,00	9.940,00	9.280,00	9.540,00	10.040,00	11.120,00	10.200,00
4.4. Caixa d'água ^{22:e}	780,00	410,00	380,00	300,00	480,00	370,00	1.020,00	980,00	1.260,00
4.5. Balde ^{23:e}	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	675,00	675,00	675,00
4.6. Puçá/tarrafa ^{24:e}	1.130,00	580,00	800,00	515,00	535,00	485,00	560,00	560,00	560,00
4.7. Rede de arrasto (pequena e grande) ^{25:e}	3.230,00	2.890,00	2.740,00	7.225,00	7.310,00	6.980,00	7.620,00	7.320,00	8.250,00
4.8. Outros equipamentos ^{26:f}	850,00	650,00	700,00	950,00	1.200,00	1.500,00	1.500,00	1.750,00	1.900,00
5. Projeto e regularização	6.130,00	3.850,00	4.820,00	5.990,00	6.825,00	5.920,00	7.900,00	6.305,00	9.660,00
5.1. Projeto técnico (com ART) ^{27:e}	5.000,00	3.000,00	4.000,00	5.000,00	6.000,00	4.000,00	6.000,00	5.000,00	8.000,00
5.2. Taxas e licenças ^{28:e}	730,00	450,00	420,00	590,00	425,00	1.420,00	1.400,00	705,00	1.160,00
5.3. Cursos e treinamentos ^{29:e}	400,00	400,00	400,00	400,00	400,00	500,00	500,00	600,00	500,00
Total	1.871.220,00	1.365.245,00	1.357.300,00	1.727.070,00	1.823.120,00	3.208.140,00	3.874.225,00	2.165.305,00	3.311.730,00

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Detalhamento: 1 = Tipo planimétrico; 2 = Tipo mecânica; 3 = Tubulação + conexões (PVC); 4 = Escavação + carga/descarga; 5 = Tipo esmeralda em placas; 6 = Serviço de frete; 7 = Alvenaria; 8 = Madeira de lei; 9 = Limpeza + abertura; 10 = Mourões + arame liso; 11 = Encamisado com bomba; 12 = Tipo rural trifásica; 13 = Centrífuga (elétrica) – 5 a 100 CV; 14 = Tipo estacionário (diesel) – 10 a 170 kVA; 15 = Chafariz (elétrico); 16 = Mecânico (turbinado); 17 = Tipo Pick-up; 18 = Agrícola (diesel); 19 = Eletrônica (110/220 v); 20 = Tipo produtor; 21 = Canoa em alumínio, carro-de-mão metálico e roçadeira tipo costal; 22 = Fibra de vidro (1.000 L); 23 = Plástico (20 L); 24 = Nylon (malha 25 mm); 25 = Nylon (malha 40 mm – 60 e 100 m); 26 = EPI + kit de ferramentas; 27 = Licenciamento ambiental + outorga; 28 = Instalação + operação; 29 = Tipo curta duração. Vida útil: a = 40 anos; b = 25 anos; c = 15 anos; d = 10 anos; e = 5 anos; f = 1 ano.

Gastos com edificações possuem maiores valores para empreendimento de *AEP*, chegando a R\$ 1.107.150,00 (piscicultura A-01), sendo 52,95% (R\$ 586.250,00) deste total direcionado às instalações de rede elétrica. Os desembolsos com máquinas e equipamentos também são elevados para *AEP*, chegando até R\$ 767.900,00 (piscicultura A-03) investidos. Parte deste montante é devido aos altos custos para aquisição de aeradores, que alcançaram R\$ 232.900,00, ou a 30,33% do somatório do item e 7,03% do total investido na atividade.

Já os valores para ferramentas e utensílios podem chegar a 1,33% (piscicultura M-01), quando se observa o quantitativo de R\$ 22.925,00 referente ao investimento efetivo obtido de R\$ 1.727.069,86. Projeto e regularização correspondem ao valor mínimo de R\$ 3.850,00 (piscicultura B-02) em pisciculturas de menor eficiência, equivalendo a apenas 0,28% sobre os R\$ 1.365.245,00 investidos.

3.3. RESULTADOS DE CUSTOS

Os valores referentes ao COE foram de R\$ 346.664,18 a R\$ 3.450.835,90, sendo que os insumos representaram de 76,28% a 93,66% sobre esse indicador. A razão foi o item mais oneroso do custo operacional, variando de 62,37% para piscicultura B-03 até 84,80% para piscicultura A-01, com menor percentuais sobre os insumos de 81,67% (piscicultura B-02) e maior de 90,54% (piscicultura A-01) para empreendimentos de *BEP* e *AEP*, respectivamente (Tabela 03).

Tabela 03. Custos de produção por ciclo do cultivo de tabaqui (*Colossoma macropomum*) em empreendimentos com diferentes níveis de eficiência produtiva na Amazônia Central.

Itens	Modelos Produtivos								
	Baixa Eficiência Produtiva			Média Eficiência Produtiva			Alta Eficiência Produtiva		
	B-01	B-02	B-3	M-01	M-02	M-3	A-01	A-02	A-03
A. CUSTO OPERACIONAL EFETIVO (COE)	541.471,60	357.614,45	346.664,18	820.364,06	560.823,38	1.627.674,23	3.450.835,90	1.519.886,76	2.080.633,33
1. Insumos	449.257,85	278.523,94	264.419,78	714.640,71	442.176,89	1.469.549,10	3.231.940,08	1.368.806,17	1.885.721,01
1.1. Alevinos ¹	6.020,00	3.760,00	3.510,00	8.060,00	5.930,00	19.470,00	28.120,00	14.140,00	23.240,00
1.2. Ração para alevinagem/recria ²	4.646,47	2.678,73	7.501,00	20.611,97	13.819,61	50.691,40	122.429,50	16.715,77	118.099,27
1.3. Ração para crescimento/engorda ³	378.910,94	224.779,53	208.721,34	609.818,90	365.370,91	1.210.624,62	2.803.801,88	1.207.679,49	1.519.333,61
1.4. Corretivos ⁴	34.516,94	21.521,03	9.645,80	13.448,11	9.650,66	32.467,07	31.999,70	16.085,95	26.423,98
1.5. Fertilizantes ⁵	1.510,12	925,03	875,27	1.220,29	875,71	2.946,09	2.903,68	0,00	2.397,73
1.6. Medicamentos ⁶	0,00	0,00	0,00	23.022,27	15.369,58	55.447,87	47.011,90	25.684,57	42.300,12
1.7. Energia elétrica ⁷	4.649,68	11.339,11	16.182,53	7.355,87	10.669,89	41.882,63	94.532,63	41.392,39	84.905,00
1.8. Combustível/lubrificante ⁸	5.918,52	5.408,16	10.282,29	10.288,53	7.611,59	13.217,03	7.006,62	7.239,86	14.097,38
1.9. Despesas administrativas (gerais) ⁹	13.085,18	8.112,35	7.701,55	20.814,78	12.878,94	42.802,40	94.134,18	39.868,14	54.923,91
2. Mão-de-Obra	23.617,33	23.805,60	23.899,73	23.899,73	40.749,60	23.852,67	37.925,60	40.843,73	40.937,87
2.1. Mão-de-obra fixa ¹⁰	19.297,33	19.485,60	19.579,73	19.579,73	36.429,60	19.532,67	33.605,60	36.523,73	36.617,87
2.2. Mão-de-obra temporária ¹¹	4.320,00	4.320,00	4.320,00	4.320,00	4.320,00	4.320,00	4.320,00	4.320,00	4.320,00
3. Manutenção e conservação	37.424,40	27.304,90	27.146,00	34.541,40	36.462,40	64.162,80	77.484,50	43.306,10	66.234,60
3.1. Reparo de máquinas, veículos e equipamentos ¹²	37.424,40	27.304,90	27.146,00	34.541,40	36.462,40	64.162,80	77.484,50	43.306,10	66.234,60
4. Serviços	6.950,00	6.810,00	7.733,33	9.120,00	9.085,00	9.691,67	8.930,00	11.046,67	11.173,33
4.1. Assistência técnica ¹³	6.150,00	6.210,00	6.933,33	8.320,00	8.385,00	8.991,67	8.330,00	10.346,67	10.373,33
4.2. Análise de qualidade de água ¹⁴	800,00	600,00	800,00	800,00	700,00	700,00	600,00	700,00	800,00
5. Impostos e taxas	24.222,02	21.170,01	23.465,34	38.162,21	32.349,49	60.417,99	94.555,72	55.884,09	76.566,52
5.1. Encargos sobre mão-de-obra fixa ¹⁵	8.798,51	8.884,35	8.927,27	8.927,27	16.609,87	8.905,81	15.322,29	16.652,79	16.695,71
5.2. Imposto Territorial Rural – ITR ¹⁶	113,26	899,65	3.191,21	2.401,90	162,63	382,99	1.169,77	109,47	941,79
5.3. Remuneração da terra ¹⁷	679,04	2.723,22	2.891,25	5.113,91	322,12	1.162,10	909,50	621,13	797,89
5.4. C.E.S.S.R. ¹⁸	14.631,22	8.662,78	8.455,60	21.719,14	15.254,86	49.967,09	77.154,16	38.500,69	58.131,13
B. CUSTO OPERACIONAL TOTAL (COT)	617.972,76	421.482,86	411.345,82	913.012,03	691.531,96	1.795.585,53	3.634.299,65	1.651.452,89	2.267.798,88
1. Custo Operacional Efetivo (COE)	541.471,60	357.614,45	346.664,18	820.364,06	560.823,38	1.627.674,23	3.450.835,90	1.519.886,76	2.080.633,33
2. Depreciação ¹⁹	76.501,16	63.868,41	64.681,64	92.647,97	130.708,58	167.911,31	183.463,75	131.566,13	187.165,55
C. CUSTO TOTAL DE PRODUÇÃO (CTP)	963.209,58	669.822,44	657.970,71	1.265.496,15	1.004.685,41	2.467.969,91	4.450.519,25	2.107.773,93	2.947.170,07
1. Custo Operacional Total (COT)	617.972,76	421.482,86	411.345,82	913.012,03	691.531,96	1.795.585,53	3.634.299,65	1.651.452,89	2.267.798,88
2. Remuneração sobre o investimento ²⁰	272.995,40	201.121,07	200.916,59	255.652,42	251.057,30	473.748,71	492.152,49	298.949,23	458.406,91
3. Remuneração do empresário ²¹	19.823,96	12.261,70	11.658,16	16.253,72	10.850,92	39.146,20	33.190,40	18.133,30	29.863,88
4. Juros sobre o capital circulante (custeio) ²²	52.417,46	34.956,81	34.050,13	80.577,98	51.245,24	159.489,47	290.876,71	139.238,51	191.100,39

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Detalhamento: 1 = Peso médio de 5,0 a 8,0 g; 2 = Comercial farelada – teor de PB: 46 a 34%; 3 = Comercial extrusada – teor de PB: 36 a 28%; 4 = Calcários agrícola [CaMg(CO₃)₂] – taxa: 3.000,00 kg ha⁻¹; 5 = Ureia [CH₄N₂O] – taxa 30,00 kg ha⁻¹; 6 = Probiótico (*Bacillus* spp.) – taxa: 0,80 kg ha⁻¹; 7 = Trifásica sem desconto; 8 = Gasolina/óleo diesel; 9 = 3,0% sobre os insumos; 10 = 1 a 2 funcionários – taxa: 0,10 a 0,20 homem ha⁻¹; 11 = 4 funcionários – taxa: 0,20 a 0,67 homem ha⁻¹; 12 = 2,0% sobre o investimento; 13 = Visita técnica + laudo (mensal); 14 = Coleta + laudo (ciclo); 15 = 45,59% sobre o salário; 16 = Alíquota: 0,7% sobre Valor da Terra Nua Tributável (VTNt); 17 = 0,5% sobre a poupança: 3,69%; 18 = Contribuição Especial de Seguridade Social Rural: 1,5% sobre a RB – alíquota: 1,2% (INSS) + 0,1% (GILL-RAT) + 0,2% (SENAR); 19 = Valor de sucata (residual) igual a zero; 20 = 12,81% sobre o investimento; 21 = 0,5 salário mínimo ao mês para cada 5,0 ha de área alagada; 22 = 8,50% a.a. sobre o COE.

Destacam-se as despesas elevadas com energia elétrica em *MEP* e *AEP* pela atividade de bombeamento para abastecimento e uso de aeradores na oxigenação dos tanques. Apesar do maior valor nominal de R\$ 94.532,63 na piscicultura A-01, o qual correspondeu a 2,74% sobre o COE, este foi menor em valores percentuais em relação a piscicultura B-02 (3,17%) e piscicultura B-03 (4,67%), mesmo estas não utilizando aeração (Figura 02).



Figura 02. Participação dos insumos sobre o custo operacional efetivo no cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em empreendimentos com diferentes níveis de eficiência produtiva na Amazônia Central.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A mão-de-obra que teve menor valor de R\$ 23.617,33, se mostrou menos representativa sobre o COE em empreendimentos de *AEP*, com 0,97% (R\$ 33.605,60) de participação ocorrendo na piscicultura A-01. Já o maior valor foi estimado para a piscicultura M-02, com 7,27% ou R\$ 40.937,87 em dispêndio.

O desembolso com manutenção e conservação se mostrou elevando, sendo considerado percentualmente o segundo item mais oneroso do COE em empreendimentos de *BEP*, chegando a compor 7,83% (R\$ 27.146,00) dos custos efetivos na piscicultura B-03. Já o item serviços foi menos impactante, com até 2,23% (R\$ 7.733,33) sobre o total também na piscicultura B-03, onde a maior parte (R\$ 6.933,33) foi efetuada em assistência técnica.

Impostos e taxas foram elevados para *BEP*, somando o valor máximo de R\$ 24.222,02 para piscicultura B-01 e a participação de até 6,77% (R\$ 23.465,34) para piscicultura B-03. Vale ressaltar que se optou por decompor a mão-de-obra de seus encargos financeiros para evidenciar os custos com este item, que chegou a 2,58% (R\$ 8.927,27) do total de COE na referida piscicultura.

O COT variou de R\$ 411.345,82 até R\$ 3.634.299,65, com COE, representando até 94,95% dessa composição (piscicultura A-01). Observam-se os gastos com depreciação dos itens de investimento, que chegaram a 18,90% (R\$ 130.708,58) na piscicultura M-02, porém estando abaixo de 10% em todos os empreendimentos de *AEP*.

Quanto aos demais aportes, como a remuneração do investimento, estes agregaram peso aos custos em empreendimentos de *BEP*, chegando a 30,54% (R\$ 200.916,59) do CTP na piscicultura B-03, seguido dos juros sobre o custeio, que alcanço na piscicultura A-02 até 6,61% (R\$ 139.238,51) de participação sobre os custos totais.

3.4. DESEMPENHO ECONÔMICO

3.4.1. Resultado da rentabilidade

Os resultados de receitas brutas obtidos a partir da produção e preço de comercialização do pescado, indicaram maior volume financeiro captado por *AEP*, os quais foram convertidos efetivamente em ganhos entre R\$ 2.566.712,92 ciclo⁻¹ e R\$ 5.143.610,88 ciclo⁻¹, como verificado na tabela 04.

Tabela 04. Rentabilidade econômica do cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em empreendimento com diferentes níveis de eficiência produtiva na Amazônia Central.

Itens ¹	Unidade	Modelos Produtivos								
		Baixa Eficiência Produtiva			Média Eficiência Produtiva			Alta Eficiência Produtiva		
		B-01	B-02	B-3	M-01	M-02	M-3	A-01	A-02	A-03
P_{peixe}	R\$	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
I	R\$	1.871.220,00	1.365.245,00	1.357.300,00	1.727.070,00	1.823.120,00	3.208.140,00	3.874.225,00	2.165.305,00	3.311.730,00
	R\$ ha ⁻¹	182.151,10	216.956,95	227.956,74	208.048,14	306.036,39	160.075,64	196.134,49	218.065,68	203.035,36
	R\$ kg ⁻¹	24,94	30,73	31,30	15,51	23,30	12,52	9,79	10,97	11,11
RB	R\$ ciclo ⁻¹	975.414,35	577.518,87	563.706,70	1.447.942,39	1.016.991,00	3.331.139,44	5.143.610,88	2.566.712,92	3.875.408,34
	R\$ ano ⁻¹	856.461,38	502.190,32	487.823,11	1.253.027,07	946.038,14	2.889.663,13	5.186.834,50	2.381.486,22	3.586.496,15
	R\$ ha ⁻¹	94.950,24	91.776,00	94.673,79	174.423,57	170.716,28	166.212,91	260.397,76	258.491,07	237.593,32
COE	R\$ ciclo ⁻¹	541.471,60	357.614,45	346.664,18	820.364,06	560.823,38	1.627.674,23	3.450.835,90	1.519.886,76	2.080.633,33
	R\$ ano ⁻¹	475.438,48	310.969,08	299.997,85	709.930,44	521.696,17	1.411.958,37	3.479.834,53	1.410.204,21	1.925.521,85
	R\$ ha ⁻¹	52.708,74	56.830,05	58.221,79	98.823,56	94.142,11	81.215,60	174.700,22	153.066,26	127.559,35
	R\$ kg ⁻¹	7,22	8,05	7,99	7,37	7,17	6,35	8,72	7,70	6,98
COT	R\$ ciclo ⁻¹	617.972,76	421.482,86	411.345,82	913.012,03	691.531,96	1.795.585,53	3.634.299,65	1.651.452,89	2.267.798,88
	R\$ ano ⁻¹	542.610,23	366.506,83	355.972,35	790.106,56	643.285,54	1.557.616,37	3.664.839,98	1.532.275,88	2.098.734,19
	R\$ ha ⁻¹	60.155,63	66.979,65	69.084,99	109.984,22	116.083,39	89.593,82	183.988,16	166.316,15	139.034,09
	R\$ kg ⁻¹	8,24	9,49	9,49	8,20	8,84	7,01	9,19	8,36	7,61
CTP	R\$ ciclo ⁻¹	963.209,58	669.822,44	657.970,71	1.265.496,15	1.004.685,41	2.467.969,91	4.450.519,25	2.107.773,93	2.947.170,07
	R\$ ano ⁻¹	845.745,00	582.454,30	569.397,73	1.095.140,90	934.591,08	2.140.889,56	4.487.918,57	1.955.666,54	2.727.458,16
	R\$ ha ⁻¹	93.762,19	106.444,36	110.505,31	152.445,54	168.650,61	123.143,59	225.309,66	212.271,79	180.684,94
	R\$ kg ⁻¹	12,84	15,08	15,17	11,36	12,84	9,63	11,25	10,68	9,89
L _{COE}	R\$ ciclo ⁻¹	433.942,74	219.904,42	217.042,52	627.578,33	456.167,62	1.703.465,21	1.692.774,98	1.046.826,16	1.794.775,00
	R\$ ano ⁻¹	381.022,90	191.221,23	187.825,26	543.096,63	424.341,97	1.477.704,76	1.706.999,98	971.282,01	1.660.974,29
	R\$ ha ⁻¹	42.241,50	34.945,96	36.452,00	75.600,01	76.574,17	84.997,32	85.697,54	105.424,81	110.033,96
	R\$ kg ⁻¹	5,78	4,95	5,01	5,63	5,83	6,65	4,28	5,30	6,02
L _{COT}	R\$ ciclo ⁻¹	357.441,58	156.036,01	152.360,88	534.930,36	325.459,04	1.535.553,91	1.509.311,23	915.260,03	1.607.609,45
	R\$ ano ⁻¹	313.851,15	135.683,48	131.850,76	462.920,51	302.752,60	1.332.046,76	1.521.994,52	849.210,34	1.487.761,96
	R\$ ha ⁻¹	34.794,61	24.796,35	25.588,81	64.439,35	54.632,89	76.619,09	76.409,60	92.174,91	98.559,23
	R\$ kg ⁻¹	4,76	3,51	3,51	4,80	4,16	5,99	3,81	4,64	5,39
L _{CTP}	R\$ ciclo ⁻¹	12.204,76	-92.303,58	-94.264,01	182.446,24	12.305,59	863.169,54	693.091,63	458.938,99	928.238,27
	R\$ ano ⁻¹	10.716,38	-80.263,98	-81.574,62	157.886,17	11.447,06	748.773,57	698.915,93	425.819,68	859.037,99
	R\$ ha ⁻¹	1.188,05	-14.668,36	-15.831,51	21.978,03	2.065,67	43.069,32	35.088,10	46.219,28	56.908,38
	R\$ kg ⁻¹	0,16	-2,08	-2,17	1,64	0,16	3,37	1,75	2,32	3,11

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

(¹): Q = Quantidade de produção anual de pescado; P_{peixe} = Preço de venda do pescado; I = Investimento; RB = Receita Bruta; COE = Custo Operacional Efetivo; COT = Custo Operacional Total; CTP = Custo Total de Produção; L_{COE} = Lucro sobre o COE; L_{COT} = Lucro sobre o COT; L_{CTP} = Lucro sobre o CTP.

Observa-se que o preço de venda foi o mesmo (R\$ 13,00) praticado em todos os empreendimentos, porém, em decorrência da baixa produtividade, as pisciculturas de *BEP* obtiveram menores receitas com a comercialização do pescado ofertado, gerando variação de R\$ 577.518,87 ciclo⁻¹ a R\$ 975.414,35 ciclo⁻¹. Em relação ao uso de espaço, a RB demonstrou menor entrada de capital por unidade de área para a piscicultura B-02 (R\$ 91.776,00 ha⁻¹) e maior para a piscicultura A-01 (R\$ 260.397,76 ha⁻¹).

Após os descontos (custos) previstos, o lucro sobre o COE ficou entre R\$ 217.042,52 ciclo⁻¹ (R\$ 5,01 kg⁻¹) e R\$ 1.794.775,00 ciclo⁻¹ (R\$ 6,02 kg⁻¹), sendo os melhores resultados obtidos por *AEP*, que mesmo com a ocorrência do menor lucro unitário produzido pela piscicultura A-01 (R\$ 4,28 kg⁻¹), expressa maior ganho anual (R\$ 1.706.999,98 ano⁻¹) devido o menor tempo de cultivo (357 dias).

Já o máximo lucro do COT foi de R\$ 1.607.609,45 ciclo⁻¹ (R\$ 5,39 kg⁻¹) na piscicultura A-03 e maior unitário de R\$ 5,99 kg⁻¹ foi para piscicultura M-03. O menor valor total e unitário ficou para piscicultura B-03, com R\$ 152.360,88 ciclo⁻¹ e R\$ 3,51 kg⁻¹, respectivamente.

Foi identificado lucro do CTP negativo na piscicultura B-02 e piscicultura B-03, com valor de -R\$ 94.264,01 ciclo⁻¹ (-R\$ 2,17 kg⁻¹) e -R\$ 92.303,58 ciclo⁻¹ (-R\$ 2,08 kg⁻¹) de *BEP*, respectivamente, evidenciando que após a entrada de fatores como depreciação e remunerações de investimentos e custeio devidos, não é possível recuperar os aportes aplicados.

3.4.2. Resultado da viabilidade

Os índices de rentabilidade e lucratividade foram afetados pelo lucro, sendo obtidos menores resultados em empreendimentos de *BEP*, com valores negativos observados nas pisciculturas B-02 e B-03, com -5,88% e -6,01% para *IR_{CTP}* e -15,98% e -16,72% para *IL_{CTP}*, respectivamente (Tabela 05).

Tabela 05. Viabilidade econômica do cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em empreendimento com diferentes níveis de eficiência produtiva na Amazônia Central.

Itens ¹	Modelos Produtivos								
	Baixa Eficiência Produtiva			Média Eficiência Produtiva			Alta Eficiência Produtiva		
	B-01	B-02	B-3	M-01	M-02	M-3	A-01	A-02	A-03
<i>IR_{COE}</i>	20,36	14,01	13,84	31,45	23,28	46,06	44,06	44,86	50,15
<i>IR_{COT}</i>	16,77	9,94	9,71	26,80	16,61	41,52	39,29	39,22	44,92
<i>IR_{CTP}</i>	0,57	-5,88	-6,01	9,14	0,63	23,34	18,04	19,67	25,94
<i>IL_{COE}</i>	44,49	38,08	38,50	43,34	44,85	51,14	32,91	40,78	46,31
<i>IL_{COT}</i>	36,65	27,02	27,03	36,94	32,00	46,10	29,34	35,66	41,48
<i>IL_{CTP}</i>	1,25	-15,98	-16,72	12,60	1,21	25,91	13,47	17,88	23,95
<i>RBC_{COE}</i>	1,80	1,61	1,63	1,76	1,81	2,05	1,49	1,69	1,86
<i>RBC_{COT}</i>	1,58	1,37	1,37	1,59	1,47	1,86	1,42	1,55	1,71
<i>RBC_{CTP}</i>	1,01	0,86	0,86	1,14	1,01	1,35	1,16	1,22	1,31
<i>VPL_{COE}</i>	349.382,20	-250.807,26	-262.654,00	1.438.098,26	649.945,86	5.403.926,32	6.074.174,29	3.495.328,48	6.368.431,51
<i>VPL_{COT}</i>	-42.094,89	-574.481,38	-588.873,50	970.831,65	-58.677,27	4.555.031,21	4.995.962,11	2.783.894,56	5.358.949,69
<i>VPL_{CTP}</i>	-1.808.764,94	-1.833.023,63	-1.832.717,05	-806.909,07	-1.756.406,53	1.155.713,88	199.058,45	316.372,95	1.694.745,11
<i>TIR_{COE}</i>	15,57	6,65	6,39	28,98	19,28	44,93	42,81	43,66	49,24
<i>TIR_{COT}</i>	10,71	-0,11	-0,52	23,58	10,47	40,10	37,68	37,61	43,73
<i>TIR_{CTP}</i>	-33,55	-	-	-1,60	-32,80	19,36	12,47	14,66	22,54
<i>PRC_{COE}</i>	4,91	7,14	7,23	3,18	4,30	2,17	2,27	2,23	1,99
<i>PRC_{COT}</i>	5,96	10,06	10,29	3,73	6,02	2,41	2,55	2,55	2,23
<i>PRC_{CTP}</i>	174,61	-17,01	-16,64	10,94	159,27	4,28	5,54	5,09	3,86

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

⁽¹⁾: *IR* = Índice de Rentabilidade (%); *IL* = Índice de Lucratividade (%); *RBC* = Relação Benefício-Custo (R\$); *VPL* = Valor Presente Líquido (R\$); *TIR* = Taxa Interna de Retorno (%); *PRC* = Período de Recuperação do Capital (anos); *COE* = Custo Operacional Efetivo; *COT* = Custo Operacional Total; *CTP* = Custo Total de Produção.

A relação benefício-custo foi mais elevada na piscicultura M-03, com valor *RBC_{CTP}* de R\$ 1,35 obtido em receita para cada R\$ 1,00 dispendido em custo, chegando a variar ainda de R\$ 1,16 a R\$ 1,31 para *AEP* nas análises. Já para os empreendimentos de *BEP*, somente a piscicultura B-01 registrou valor de *RBC* favorável de R\$ 1,01 aplicados na atividade.

Quando consideramos investimentos e custos, o VPL apontou retorno negativo em todos os empreendimentos de *BEP* e em dois empreendimentos de *MEP*. Utilizando a referência da renda fixa (12,81%) como aplicação alternativa, a TIR apresentou atratividade somente na piscicultura M-03 (19,36%) de *MEP* e pisciculturas A-02 (14,66%) e A-03 (22,54%) de *AEP*, sendo este último o melhor resultado.

O PRC também teve melhor performance na piscicultura A-03, indicando tempo mínimo necessário para recuperação do investimento de 3,86 anos. Assim como no VPL, Todos os empreendimentos de *BEP* e dois em *MEP* possuem dificuldades para retorno do investimento, demonstrando períodos de recuperação do investimento maiores que dez anos, como definido para o horizonte de longo prazo.

4. DISCUSSÃO

4.1. DESEMPENHO PRODUTIVO

Características relacionadas ao tempo de produção, peso de comercialização e estocagem se mantiveram adequadas aos sistemas produtivos praticados para o tambaqui em tanques escavados (CAVERO *et al.*, 2009; MARINHO-PEREIRA *et al.*, 2009; BELCHIOR & DALCHIAVON, 2017; SOUSA *et al.*, 2017; SOUZA *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2018; FEITOZA *et al.*, 2018; PENHA *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2020; MORAES *et al.*, 2021; BOTELHO *et al.*, 2022; COSTA *et al.*, 2022; CRAVEIRO *et al.*, 2024). A duração do tempo se mostrou próxima a de Barone *et al.* (2017), que identificou prazo de até 389 dias para o peso de abate, que variou de 2,3 kg para empreendimento que não utilizam aeradores e 3,0 kg para aqueles que utilizam, senda as estocagens definidas em 0,7 kg m²⁻¹ e 2,1 kg m²⁻¹, respectivamente. Já Costa *et al.* (2020), encontraram período médio de 348 dias no cultivo, peso de 2,09 kg na despesca e 0,67 kg m²⁻¹ na estocagem.

A produtividade para cada modelo também foi condizente com a estratégia adotada pelos piscicultores e conforme o perfil de cultivo da espécie (IZEL & MELO, 2004; CAVERO *et al.*, 2009; MARINHO-PEREIRA *et al.*, 2009; FEITOZA *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; MEANTE *et al.*, 2021; COSTA *et al.*, 2022; CRAVEIRO *et al.*, 2024). Observam-se densidades distintas, com produtividades que variaram (0,7 a 2,0 kg m²⁻¹ ano) de acordo com a necessidade de aeração para aumento das taxas de estocagem (BOYD, 1998; CASTRO *et al.*, 2002; MARINHO-PEREIRA *et al.*, 2009; IZEL *et al.*, 2013; KUMAR *et al.*, 2013; PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; BARONE *et al.*, 2017; DANTAS-FILHO, 2017; MORAIS & O’SULLIVAN, 2017; SOUSA *et al.*, 2017; IZEL-SILVA *et al.*, 2020).

Costa *et al.* (2018) identificaram produtividade média de $0,67 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}$ em pisciculturas do tambaqui na região metropolitana de Manaus, que são próximas as pisciculturas de *BEP* deste estudo. Os autores destacam, no entanto, a necessidade do uso de tecnologias, como aeradores para incremento no desempenho produtivo, que se encontra inferior ao da tilápia, por exemplo, que alcança produção superior a $5,0 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}$.

Levantamento realizado por Barone *et al.* (2017) demonstram, de fato, o valor elevado de até $2,1 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}$ na produtividade com aeração, o que é semelhante aos resultados dos empreendimentos de *AEP* deste estudo. Costa *et al.* (2017) também identificaram resultado expressivo, com $1,7 \text{ kg m}^{-2} \text{ ano}$ no cultivo de tambaqui “curumim” em pisciculturas em tanques escavados na região metropolitana de Manaus, considerada uma ótima densidade para essa estratégia produtiva com aeradores.

De acordo com Izel *et al.* (2013) a utilização de sistemas intensivos possibilita aumentar a capacidade de produção do tambaqui, com maior rentabilidade por hectare, agregando ainda sustentabilidade ambiental ao sistema. A aeração é, portanto, uma estratégia tecnológica que fornece melhoria do processo produtivo, melhor uso de insumos e mão-de-obra, além de permitir uma maior eficiência no uso de recursos e no retorno econômico em função da escala e biomassa produzida (BOYD, 1998; BARROS & MARTINS, 2012; IZEL *et al.*, 2013; COSTA *et al.*, 2017; DANTAS-FILHO, 2017; MORAIS & O’SULLIVAN, 2017; BOYD *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2020; NASS *et al.*, 2020; ROY *et al.*, 2021; LAKTUKA *et al.*, 2023).

Sobre a taxa de aeração mecânica, os resultados se mostraram adequados ao que preconiza Izel *et al.* (2013), quando verificaram em sistemas intensivos de adensamento ser necessária a potência de $6,0 \text{ hp(cv) ha}^{-1}$ a uma estocagem de $0,7 \text{ peixe m}^{-2}$. As taxas foram apropriadas para *MEP* e *AEP*, demonstrando a dependência dos equipamentos nas densidades superiores a $1,2 \text{ kg m}^{-2}$ de condicionamento, não sendo recomendado em estocagens abaixo de $0,8 \text{ kg m}^{-2}$ (SOUSA *et al.*, 2017), por exemplo, como verificado em *BEP*.

Constata-se que os valores de CAA estão próximos a outros estudos do tambaqui estocados em viveiros, com índices superiores a 1,8 reportados (PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; BARONE *et al.*, 2017; NETO *et al.*, 2017; OLIVEIRA & SOUZA, 2017; SOUSA *et al.*, 2017; SOUZA *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2020; MEANTE *et al.*, 2021; COSTA *et al.*, 2022; MONTELO *et al.*, 2024). De acordo com Costa *et al.* (2017), valores elevados de conversão alimentar podem ser atribuídos aos baixos investimentos em alimentação adequada e deficiências no controle do processo produtivo, o que sugere ter ocorrido em *BEP* e *MEP*, com os piores resultados observados.

Embora as taxas de CAA sofram influência negativa da densidade de estocagem (GOMES *et al.*, 2006; SILVA, 2015; COSTA *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2021; MONTELO *et al.*, 2024), não se verificou esse comportamento em pisciculturas de AEP, que foram melhores em relação a este parâmetro quanto maior o adensamento (GOMES *et al.*, 2006; COSTA *et al.*, 2016; FRISSE *et al.*, 2020; IZEL-SILVA *et al.*, 2020). Gomes *et al.* (2006) identificaram melhor eficiência na CAA com o aumento da densidade do tambaqui produzido em tanques-rede, sugerindo que uma maior competitividade no consumo do alimento em ambientes de alta densidade pode ter favorecido menores taxas de conversões alimentares, sendo este comportamento também esperado neste estudo.

Pedroza-Filho *et al.* (2016) destacam o baixo investimento tecnológico e administrativo no cultivo do tambaqui em comparação a outras espécies, o que não permite se alcançar melhores desempenhos de produção nessas fazendas. Se faz necessário, portanto, maior controle do manejo, principalmente alimentar, que contribui para a mitigação do desperdício dos fatores de produção e exercem maior influência sobre melhores margens (CHAGAS *et al.*, 2005; 2007; ASCHE *et al.*, 2008; ABIMORAD & CASTELLANI, 2011; BICUDO & ABIMORAD, 2012; RODRIGUES, 2014; YOSHIOKA, 2014; SILVA & FUJIMOTO, 2015; DANTAS-FILHO, 2017; OLIVEIRA & SOUZA, 2017; SANTOS *et al.*, 2018; MARTINS *et al.*, 2020; RODRIGUES *et al.*, 2024).

A mortalidade em todos os modelos produtivos foi considerada baixa quando compara a outras investigações com a espécie em condições semelhantes de produção (CASTRO *et al.*, 2002; MARINHO-PEREIRA *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2022). Castro *et al.* (2002) alcançaram sobrevivência de 81% no cultivo intensivo de tambaqui em viveiros de terra e Marinho-Pereira *et al.* (2009) obtiveram valor de 76% para barragens e 95% para tanques escavados, demonstrando diferença no controle de manejo da espécie pelo tipo de estrutura de cultivo utilizada.

Maiores taxas mortalidades exercem impacto nos custos de produção, já que a máxima sobrevivência de peixes para comercialização previne a concentração dos custos sobre os animais restantes (BARROS *et al.*, 2020). Assim, os valores consistentes de sobrevivência observados neste trabalho expõem o controle do processo produtivo, mesmo em ambientes com maiores estocagens (BRANDÃO *et al.*, 2004; INOUE *et al.*, 2014; SILVA & FUJIMOTO, 2015; SILVA *et al.*, 2021; MONTELO *et al.*, 2024), que contribuem para a redução das despesas recorrentes e aumento do retorno pelo menor desperdício com o descarte de animais (BOECHAT *et al.*, 2015; BARROS *et al.*, 2020).

4.2. PERFORMANCE DE INVESTIMENTO

O valor médio de instalação da infraestrutura de viveiros das pisciculturas ficou entre R\$ 100.833,55 ha⁻¹ e R\$ 119.649,33 ha⁻¹, estando acima do obtido recentemente na região (FEITOZA *et al.*, 2018; BARROS *et al.*, 2020; CASTRO *et al.*, 2020; BOTELHO *et al.*, 2022; COSTA *et al.*, 2022). Castro *et al.* (2020), em trabalho sobre custo de produção do tambaqui no estado do Pará, contabilizaram valor de R\$ 76.637,33 ha⁻¹ na implantação da piscicultura, onde cerca de 21,60% do investimento é destinado a instalação de viveiros, sendo este percentual inferior ao obtido neste estudo, que variou de 39,10% a 63,44% do total levantado.

A confecção de tanques escavados é o dispêndio mais oneroso na implantação de pisciculturas em terra firme, possuindo alto investimento inicial (MELO & STIPP, 2001; IZEL & MELO, 2004; CAVERO *et al.*, 2009; FURLANETO & ESPERANCINI, 2009; MARINHO-PEREIRA *et al.*, 2009; BARROS & MARTINS, 2012; VILELA *et al.*, 2013; COSTA *et al.*, 2016; DANTAS-FILHO, 2017; BARROS *et al.*, 2020; CASTRO *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2021; MEANTE *et al.*, 2021; BOTELHO *et al.*, 2022; COSTA *et al.*, 2022). Estes custos são explicados pela necessidade de mobilização de maquinário pesado para limpeza das áreas, movimentação de terra e compactação do solo, além da quantidade de tanques e complexidade dos complementos envolvidos, como os sistemas de abastecimento e drenagem (MARTIN *et al.*, 1995; FURLANETO & ESPERANCINI, 2009; BARROS & MARTINS, 2012; REZENDE & BERGAMIN, 2013; COSTA *et al.*, 2016; BARROS *et al.*, 2020; MEANTE *et al.*, 2021).

Segundo Castro *et al.* (2002), o investimento elevado é o que limita o surgimento de novos empreendimentos de piscicultura em ambientes de terra firme, ocorrendo principalmente entre os pequenos produtores (MELO & STIPP, 2001; FURLANETO & ESPERANCINI, 2009). Portanto, estratégias que envolvem investimentos expressivos que comprometem o retorno econômico de infraestruturas menos eficientes, necessitam de mecanismos de aumento da produtividade para fornecer competitividade e capacidade de superação dos riscos (MARTIN *et al.*, 1995; BARROS & MARTINS, 2012; COSTA *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2018; BARROS *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020).

Os aeradores, como equipamentos tecnológicos de aumento produtivo, compuseram até 38,41% dos gastos com máquinas, veículos e equipamentos e 7,36% do total de investimento em AEP, demonstrando valores significativos na aquisição (MARINHO-PEREIRA *et al.*, 2009; IZEL *et al.*, 2013; KUMAR *et al.*, 2013; DANTAS-FILHO, 2017). Apesar do potencial aumento da oxigenação da água, a não utilização de aeradores em pisciculturas de BEP é apropriada economicamente, pois seu uso não é indicado quando obedecido o limite da densidade de estocagem e níveis de oxigênio aceitáveis para a espécie (BOYD, 1998; SOUSA

et al., 2017; SOUZA *et al.*, 2017), já que este é um recurso que aumenta o consumo energético e, conseqüentemente, os custos com este insumo (KUMAR *et al.*, 2013; SOUSA *et al.*, 2017; SOUZA *et al.*, 2017; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; NASS *et al.*, 2020; MONTELO *et al.*, 2024).

4.3. PERFORMANCE DE CUSTOS

O custo total do tambaqui flutuou de R\$ 9,63 kg⁻¹ a R\$ 15,17 kg⁻¹ produzido, sendo considerado elevado em relação a outros estados da região Amazônica (PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; FEITOZA *et al.*, 2018; BARROS *et al.*, 2020; CASTRO *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2020; MEANTE *et al.*, 2021; BOTELHO *et al.*, 2022; COSTA *et al.*, 2022). Castro *et al.* (2020) identificaram valor de R\$ 5,85 kg⁻¹, Botelho *et al.* (2022) contabilizaram R\$ 6,15 kg⁻¹ e Costa *et al.* (2022) chegaram a R\$ 6,04 kg⁻¹ nos custos totais para a espécie, todos em estruturas de tanques escavados no estado do Pará.

Feitoza *et al.* (2018) também constataram CTP mais expressivo no estado do Amazonas (R\$ 5,70 kg⁻¹) em relação a Rondônia (R\$ 4,60 kg⁻¹) e Roraima (R\$ 4,97 kg⁻¹) ao compararem os perfis dos empreendimentos na produção da espécie. Confirma-se essa característica em decorrência de aspectos logísticos de grande distância e necessidade do transporte rodoviário ou fluvial, que encarecem a entrada de insumos no estado (GANDRA, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2012; MEANTE & DÓRIA, 2017; ALMEIDA *et al.*, 2018; FEITOZA *et al.*, 2018; HILSDORF *et al.*, 2021; MORAES *et al.*, 2021).

Em valores percentuais, a ração se comportou como previsto, variando entre 60 e 80% do COE, indicando que este é o insumo mais dispendioso dos custos da atividade (MARTIN *et al.*, 1995; MELO *et al.*, 2001; MELO & STIPP, 2001; CASTRO *et al.*, 2002; IZEL & MELO, 2004; CREPALDI *et al.*, 2006; GOMES *et al.*, 2006; BARROS & MARTINS, 2012; BICUDO & ABIMORAD, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2012; VILELA *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2014; BARROSO *et al.*, 2016; PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; BARONE *et al.*, 2017; BELCHIOR & DALCHIAVON, 2017; BRABO *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2017; DANTAS-FILHO, 2017; COSTA *et al.*, 2018; FEITOZA *et al.*, 2018; VIEIRA, 2018; BARROS *et al.*, 2020; CASTRO *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2020; FERREIRA *et al.*, 2021; MEANTE *et al.*, 2021; BOTELHO *et al.*, 2022; COSTA *et al.*, 2022). Trata-se, por esta característica, de um item direcionador dos custos de produção, podendo, pelas flutuações de preço, impactar os ganhos com a comercialização do pescado e até inviabilizar o empreendimento (GOMES *et al.*, 2006; MEANTE & DÓRIA, 2017; COSTA *et al.*, 2018; FEITOZA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2018, 2020; COSTA *et al.*, 2022).

Destaca-se a relação do consumo de ração ao volume de produção, com maior percentual da participação deste componente no COE em empreendimentos de *MEP* (67,61% a 77,49%) e *AEP* (78,70% a 84,80%) em comparação a *BEP* (62,37% a 70,84%), demonstrando a capacidade de diluição de outros itens de despesa pelo aumento da escala e eficiência produtiva (GOMES *et al.*, 2006; COSTA *et al.*, 2016; BARONE *et al.*, 2017; DANTAS-FILHO, 2017; MEANTE & DÓRIA, 2017; COSTA *et al.*, 2020; FERREIRA *et al.*, 2021). Os valores elevados da ração (> 70%) na composição dos custos podem indicar, portanto, melhor uso do capital com o adensamento e intensificação (GOMES *et al.*, 2006; COSTA *et al.*, 2016).

Apesar dos maiores gastos com energia elétrica serem encontrados em pisciculturas de *AEP* pelo uso de aeradores, esta estratégia também demonstrou boa diluição dos seus custos devido à maior biomassa produzida (IZEL *et al.*, 2013; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; NASS *et al.*, 2020; ROY *et al.*, 2021; MONTELO *et al.*, 2024). O valor do COE sobre energia, que chegou a R\$ 0,37 kg⁻¹ de pescado produzido na piscicultura B-03, considerada menos eficiente, teve seu valor superado por todos os empreendimentos de *MEP* (R\$ 0,07 kg⁻¹ a R\$ 0,16 kg⁻¹) e *AEP* (R\$ 0,21 kg⁻¹ a R\$ 0,28 kg⁻¹), mais produtivos e economicamente melhores.

Montelo *et al.* (2024) também constataram este comportamento, ao averiguarem diminuição do custo relativo às despesas com eletricidade em decorrência do aumento da densidade de estocagem em pisciculturas com tecnologia bioflocos. Os autores notam que o incremento em biomassa impacta positivamente o dispêndio com este insumo, o que reflete no menor custo unitário, assim como ocorreu nos resultados deste trabalho.

Sobre a mão-de-obra (fixa e temporária), a participação no COE variou de 1,54% a 10,23% quando somada aos encargos sociais, estando condizente com a realidade do cultivo da espécie na produção em tanques escavados (MELO *et al.*, 2001; IZEL & MELO, 2004; BARROSO *et al.*, 2016; SOUSA *et al.*, 2016a; COSTA *et al.*, 2017; MARTINS *et al.*, 2020; FERREIRA *et al.*, 2021; MEANTE *et al.*, 2021; COSTA *et al.*, 2022). Melo *et al.* (2001) identificaram mão-de-obra mais encargos de 7,29% sobre os custos efetivos, valor próximos aos deste trabalho. Castro *et al.* (2020), no entanto, identificaram resultado mais representativo da mão-de-obra no cultivo do tambaqui, com 22,54% incluídos os encargos, assim como Botelho *et al.* (2022), que alcançaram até 33,3% deste componente no custo total.

Empreendimentos que possuem maior necessidade de gerenciamento e manejo na produção apresentam mão-de-obra mais participativa nos custos. Esta realidade é verificada na produção de alevinos, onde este item é o mais dispendioso do COE, devido a necessidade de força de trabalho especializado, capacitação e experiência profissional com alto nível de qualificação para execução dos protocolos de reprodução (BRABO *et al.*, 2015; GUERREIRO *et al.*, 2015; COSTA *et al.*, 2016).

Pode se destacar a maior exigência de habilidades específicas dos trabalhadores conforme a modalidade produtiva, de forma a se acompanhar os riscos envolvidos nos cuidados dos animais, no entendimento dos mecanismos de operação e tecnologias envolvidas (BRABO *et al.*, 2015; GUERREIRO *et al.*, 2015; COSTA *et al.*, 2016; KUMAR *et al.*, 2018; GARCEZ *et al.*, 2021). Os resultados menos expressivos neste estudo, no entanto, demonstram a pouca relevância dispendida na contratação de trabalho especializado em pisciculturas de engorda, mesmo as de alta produtividade (COSTA *et al.*, 2015), o que não exclui a sua necessidade, já que este item pode conduzir ao maior sucesso econômico do empreendimento (BOECHAT *et al.*, 2015; COSTA *et al.*, 2017; GARCEZ *et al.*, 2021).

Os valores da depreciação também demonstraram processo de diluição com aumento da escala, indicando menor participação sobre o COT em pisciculturas de AEP (5,05% a 8,25%), como observados em outras investigações (COSTA *et al.*, 2018; CASTRO *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2020). Para Costa *et al.* (2018), valores altos para depreciação estão associados à baixa produtividade, a qual impossibilita a diminuição do peso deste componente, assim verificado nos resultados de BEP, que variaram de 12,38% a 15,72%, corroborando esse comportamento.

4.4. DESEMPENHO ECONÔMICO

4.4.1. Avaliação da rentabilidade

Ao se observar o lucro, verifica-se o impacto dos altos custos envolvidos na modalidade de produção em viveiros escavados (MARINHO-PEREIRA *et al.*, 2009; BELCHIOR & DALCHIAVON, 2017; COSTA *et al.*, 2017; FEITOZA *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020), que comprometem a remuneração de empreendimentos menos eficientes. Os resultados expõem, pelos valores negativos em duas pisciculturas de BEP, a baixa diluição de despesas pela menor capacidade de arrecadação, que está associada a escala de produção e volume de vendas dos empreendimentos (COSTA *et al.*, 2016; COSTA *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; MONTELO *et al.*, 2024).

Barros & Martins (2012) enfatizam que a otimização das instalações aquícolas, com incremento da biomassa estocada é uma estratégia produtiva válida para superar dificuldades. A adoção da intensificação, como realizada nas pisciculturas de *AEP*, é mais indicada, pois gera redução dos custos e aumento do retorno econômico aos piscicultores pela maior quantidade de pescado comercializado (GOMES *et al.*, 2006; ASCHE *et al.*, 2008; BARROS & MARTINS, 2012; SANTOS *et al.*, 2014; BARROSO *et al.*, 2016; COSTA *et al.*, 2016; SOUSA *et al.*, 2016b; BARONE *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020; NASS *et al.*, 2020; MEANTE *et al.*, 2021; PRAXEDES *et al.*, 2021; MONTELO *et al.*, 2024).

Mecanismos para o barateamento dos insumos também são necessários para se alcançar maior competitividade. Neste contexto, é fundamental o conhecimento das relações mercadológicas de negociações coletivas, que contribuem, por exemplo, na formação de organizações sociais representativas (associações, cooperativas, sindicatos, etc.), as quais viabilizariam a redução dos preços de insumos pelo maior poder de barganha (MELO & STIPP, 2001; ABIMORAD & CASTELLANI, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2012; YOSHIOKA, 2014; SOUSA *et al.*, 2016a; MEANTE & DÓRIA, 2017; ZACARDI *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020).

Com relação aos preços de venda do tambaqui, estes são elevados em comparação a outras espécies, permitindo maiores lucro, o que acaba por compensar a menor produtividade (PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016). No entanto, os resultados desfavoráveis nas margens *BEP* demonstram que os custos não são cobertos pelos preços praticados, seja por falhas nas avaliações de cenários e oscilações de mercado (SONODA *et al.*, 2016; MEANTE & DÓRIA, 2017; FEITOZA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2020; NASS *et al.*, 2020; MEANTE *et al.*, 2021; BOTELHO *et al.*, 2022; COSTA *et al.*, 2022), ou por deficiência no controle gerencial, que compromete o desempenho e a viabilidade econômica na criação (NASCIMENTO & GALLON, 2008; DEBUS *et al.*, 2016; BELCHIOR & DALCHIAVON, 2017; DANTAS-FILHO, 2017; COSTA *et al.*, 2020).

Para Costa *et al.* (2020), a precária gestão das fazendas pelo menor conhecimento técnico, pode explicar os prejuízos na atividade, mesmo com assistência e informações disponíveis aos piscicultores. A ausência de conhecimento dos parâmetros econômicos, como a rentabilidade do empreendimento, compromete a tomada de decisão financeira produzindo endividamento e risco de perda da capacidade produtiva do agronegócio (NASCIMENTO & GALLON, 2008; DEBUS *et al.*, 2016; BELCHIOR & DALCHIAVON, 2017).

Os índices negativos observados neste estudo indicam que essa condição já vem sendo constatada na região, onde o pouco investimento e infraestrutura precária, aliados ao baixo nível de preparo técnico do produtor, vem causando prejuízos ao setor (OLIVEIRA *et al.*, 2012; NAKAUTH *et al.*, 2015; ZACARDI *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2019; COELHO *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020). Pode se estabelecer, portanto, que o planejamento e gestão da piscicultura, através do apropriado controle dos custos e receitas, contribuem significativamente para se alterar essa realidade, se tornando fatores decisivos para seu sucesso (VILELA *et al.*, 2013; MEANTE *et al.*, 2021).

4.4.2. Avaliação da viabilidade

Os resultados negativos em pisciculturas de *BEP* para os indicadores de IR e IL evidenciam que não ocorre a recuperação do capital dispendidos na atividade, refletindo em prejuízo dos empreendimentos. Cabe inferir que os preços de venda combinados ao peso dos custos, principalmente com alimentação, impactaram as margens de retorno nestes empreendimentos menos eficientes (PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; COSTA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2020; MEANTE *et al.*, 2021; COSTA *et al.*, 2022; MONTELO *et al.*, 2024).

Estratégias de comercialização podem, no entanto, mudar essa condição pela abertura de diferentes fontes de venda, o que permitem maior condição de barganha nas negociações (COSTA *et al.*, 2018; MARTINS *et al.*, 2020). Costa *et al.* (2018), por exemplo, identificaram IL superior a 20% em pisciculturas do tambaqui na região metropolitana de Manaus, demonstrando que a atividade se torna rentável com melhores canais de comercialização, somados aos maiores valores de venda e menores preços de ração.

Já Martins *et al.* (2020) verificaram IL de 46,18% para a produção da espécie em tanques escavados no município de Urupá, em Rondônia, valores considerados elevados em relação a *AEP* (13,47% a 23,95%) neste estudo. Os autores esclarecem que o desempenho positivo é devido aos melhores preço de negociação do pescado na região, porém expõem sensibilidade nas margens de retorno obtidas pelas oscilações de mercado, que impactaram os custos e a obtenção de melhores resultados.

O RBC expõe pouco otimismo com os empreendimentos de *BEP* pelos valores menores que R\$ 1,00 verificados em duas pisciculturas, sendo favoráveis, porém, para *AEP*, que exibem retorno que chegam a R\$ 1,31 para cada real aplica no projeto. Os valores positivos foram, no entanto, inferiores ao de Castro *et al.* (2020), que alcançaram RBC de R\$ 1,34 em modalidades de cultivo em tanque-rede e viveiros escavados no estado do Pará, no qual os autores demonstram viabilidade para ambas as modalidades sob este indicador.

É preocupante constatar ainda o VPL negativo em todas as pisciculturas de *BEP* e em dois empreendimentos de *MEP*, demonstrando que os empreendimentos menos eficientes não oferecem recuperação do investimento no prazo estipulado (dez anos) como horizonte de análise (MARTINS *et al.*, 2020). Os números de VPL positivos para *AEP* evidenciam, no entanto, que altas estocagens, atendem às necessidades do piscicultor e garantem, com a aplicação de taxas de descontos, o retorno financeiro a partir dos recursos aplicados (GOMES *et al.*, 2006; FURLANETO & ESPERANCINI, 2009; MARINHO-PEREIRA *et al.*, 2009).

Outro importante indicador de aceitação do projeto, a TIR, apresentou valores acima da TMA (desconto) somente em empreendimentos de *MEP* (19,36%) e *AEP* (14,66% e 22,54%), corroborando a baixa atratividade das pisciculturas com menores produtividades (NASS *et al.*, 2020; MEANTE *et al.*, 2021). Os resultados desfavoráveis, portanto, expõem a pouca aceitação e capacidade de competitividade desses empreendimentos frente outras fontes de renda alternativas (FURLANETO & ESPERANCINI, 2009; VILELA *et al.*, 2013), direcionando o investidor a aplicar sua liquidez financeira de outras formas consideradas menos arriscadas (PRAXEDES *et al.*, 2021).

De acordo com Martin *et al.* (1995), fatores como o nível de investimento, sistemas de produção (tecnologias) e preços de venda, influenciam expressivamente a TIR em um empreendimento piscícola, sendo a medida tecnológica de intensificação a mais impactante. De fato, somente empreendimentos de *AEP* e *MEP* apresentam TIR acima da TMA, indicando a intensificação como melhor estratégia (MARTIN *et al.*, 1995; NASS *et al.*, 2020).

Em relação ao PRC, este também é um índice que auxilia na verificação da recuperação dos recursos aplicados pelo tempo de pagamento ao produtor, no qual altos investimentos podem impactar esse parâmetro de análise (CASTRO *et al.*, 2020), tornando o cultivo de peixes mais ou menos competitivo em relação a outras modalidades de produção agropecuária (PRAXEDES *et al.*, 2021). Os resultados levantados para o PRC, portanto, só reforçam o melhor retorno do investimento para o sistema de *AEP* pelo tempo inferior a dez anos na recuperação do capital, considerado mais recomendado para a atividade (VILELA *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2014; GERREIRO *et al.*, 2015; CASTRO *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2020; PRAXEDES *et al.*, 2021, ROSSIGNOL *et al.*, 2024).

5. CONCLUSÃO

O cultivo do tambaqui em viveiros escavados apresenta grande relação entre a estratégia de intensificação e o desempenho produtivo e econômico da atividade. A avaliação de fazendas operacionais demonstrou que é possível se obter retorno crescente com o incremento da biomassa sem comprometimento dos parâmetros zootécnicos dos animais, desde que aplicado o adequado manejo e gerenciamento nas pisciculturas.

Nota-se que a intensificação é um fator que aumenta o investimento e os custos de produção, ao mesmo tempo que acrescenta dependência de recursos naturais e insumos. No entanto, esta pode ser considerada uma medida determinante para a redução dos riscos no agronegócio, permitindo a superação de limitações financeiras impostas por fatores externos alheios à capacidade de controle do piscicultor.

Por fim, sugere-se o desenvolvimento de novos estudos que abordem o aprimoramento de técnicas de cultivo e sua aplicabilidade na produção comercial. Pesquisas direcionadas ao aumento da eficiência alimentar e melhoramento genético podem contribuir para os ganhos de biomassa e velocidade de crescimento do tambaqui, favorecendo assim, a capacidade de atratividade do setor e a abertura de mercado a novos potenciais produtores.

AGRADECIMENTO

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo suporte financeiro à execução do projeto de pesquisa com recursos dos Editais FAPEAM Nº 011/2022 PROGRAMA CIÊNCIA NA GESTÃO PÚBLICA – PCGP/FAPEAM e Nº 008/2022 PROGRAMA KUNHÃ – C, T & I NO AMAZONAS; aos piscicultores, que permitiram o acesso e forneceram informações das fazendas; ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros (PPGCARP) e à Universidade Federal do Amazonas (UFAM) pela oportunidade de realização do Doutorado.

REFERÊNCIAS

- ABIMORAD, E. G. & CASTELLANI, D. **Qualidade da ração e manejo alimentar na sustentabilidade econômica e ambiental em empreendimentos aquícolas.** *Pesquisa & Tecnologia*, v. 8, n. 1, 2011.
- ALMEIDA, E. S. de; BARAI, A. A.; CRAVEIRO, J. M. da C.; OLIVEIRA, A. M. de. **Cadeia produtiva do tambaqui no estado do Amazonas.** *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, 11(2): 10-18, 2018. DOI: 10.18817/repesca.v11i2.1666
- ARAÚJO, S. P. de; MOTA, J. B. da; PIRES, D. C.; MIRANDA-FILHO, K. C. **Production of Tambaqui (*Colossoma macropomum*) in Brazil between 2017 to 2021.** *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7(2): 1-8, 2024. DOI: 10.34188/bjaerv7n2-064
- ASCHE, F.; ROLL, K. H.; TVETERÅS, S. **Future Trends in Aquaculture: Productivity Growth and Increased Production.** In: HOLMER, M.; BLACK, K.; DUARTE, C. M.; MARBÀ, N.; KARAKASSIS, I. (Org.) *Aquaculture in the Ecosystem*. London: Springer, pp. 271-292, 2008. DOI: 10.1007/978-1-4020-6810-2_9
- ASSIS, Y. P. A. S.; ASSIS PORTO, L de; MELO, N. F. A. C. de; PALHETA, G. D. A.; LUZ, R. K.; FAVERO, G. C. **Feed restriction as a feeding management strategy in *Colossoma macropomum* juveniles under recirculating aquaculture system (RAS).** *Aquaculture*, 529: 735689, 2020. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735689
- BARONE, R. S. C.; MORAES, J. M. M. de; ROSA, J. M. **Relatório Campo Futuro – Aquicultura: Custo de Produção do tambaqui (*Colossoma macropomum*) com e sem uso de aeração.** CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. *Relatório Técnico*. Manaus, AM: CNA, 2017, 6p.
- BARROS, A. F. de; LIMBERGER, D. L. R.; SILVA, A. C. C.; SANTOS, P. R. J. **Custo de implantação, planejamento zootécnico e econômico de pisciculturas de pequeno porte.** *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n.5, p.27545-27564, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n5-269
- BARROS, A. F. de & MARTINS, M. I. E. G. **Performance and economic indicators of a large scale fish farming in Mato Grosso, Brazil.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(6): 1325-1331, 2012. DOI: 10.1590/S1516-35982012000600001
- BARROSO, R. M.; MATAVELI, M.; MUÑOZ, A. E. P.; WIEFELS, R. **Regulamentação das espécies cultivadas.** CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. *Boletim Ativos da Aquicultura*, 9: 1-8, 2016.
- BELCHIOR, E. B. & DALCHIAVON, F. C. **Economic viability of tambaqui production in the municipality of Ariquemes – RO.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 43(3): 373-384, 2017. DOI: 10.20950/1678-2305.2017v43n3p373

BICUDO, Á. J. A. & ABIMORAD, E. G. **Nutrição adequada a cada espécie é desafio para pesquisa e produção.** *Visão agrícola*, n. 11, p. 77-79, 2012.

BOECHAT, F. P.; RODRIGUES, D. A.; RIBEIRO, G. M.; FREITAS, R. R. de. **Avaliação econômica de uma atividade piscícola de água doce no norte do Espírito Santo, Brasil.** *Acta of Fisheries and Aquatic Resources*, 3(2): 10-23, 2015. DOI: 10.2312/ActaFish.2015.3.2.10-23

BOTELHO, B. W. C.; GAMA, J. P.; RODRIGUES, R. P.; CAMPELO, D. A. V.; VERAS, G. C.; BRABO, M. F. **Criação de tambaqui em viveiros escavados no estado do Pará, Amazônia, Brasil.** *Informações Econômicas*, v. 52, eie062020, 2022. DOI: 10.56468/1678-832X.eie0620.2022

BOYD, C. E. **Pond water aeration systems.** *Aquacultural Engineering*, 18: 9-40, 1998. DOI: 10.1016/s0144-8609(98)00019-3

BOYD, C. E.; D'ABRAMO, L. R.; GLENCROSS, B. D.; HUYBEN, D. C.; JUAREZ, L. M.; LOCKWOOD, G. S.; McNEVIN, A. A.; TACON, A. G. J.; TELETCHEA, F.; TOMASSO, J. R.; TUCKER, C. S.; VALENTI, W. C. **Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges.** *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(3): p. 578-633, 2020. DOI: 10.1111/jwas.12714

BRABO, M. F.; NATIVIDADE-JÚNIOR, L. de S.; DIAS, C. L.; BARBOSA, J.; CAMPELO, D. A. V.; VERAS, G. C. **Viabilidade econômica da produção familiar de tambaqui em gaiolas flutuantes no Oeste paraense, Amazônia, Brasil.** *Custos e @gronegocio online*, v. 13, n. 1, 2017.

BRABO, M. F.; REIS, M. H. D.; VERAS, G. C.; SILVA, M. J. M. da; SOUZA, A. da S. L. de; SOUZA, R. A. L. de. **Viabilidade econômica da produção de alevinos de espécies reofílicas em uma piscicultura na Amazônia Oriental.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 41(3): 677-685, 2015.

BRANDÃO, F. R.; GOMES, L. de C.; CHAGAS, E. C.; ARAÚJO, L. D. de. **Densidade de estocagem de juvenis de tambaqui durante a recria em tanques-rede.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(4): 357-362, 2004. DOI: 10.1590/S0100-204X2004000400009

BRASIL. Lei nº 8.212, de 24 de julho de 1991. **Dispõe sobre a organização da Seguridade Social, institui Plano de Custeio, e dá outras providências.** In: *Diário Oficial da União*, Brasília, 25 de julho de 1991.

_____. Lei nº 9.528, de 10 de dezembro de 1997. **Altera dispositivos das Leis nºs 8.212 e 8.213, ambas de 24 de julho de 1991, e dá outras providências.** In: *Diário Oficial da União*, Brasília, 11 de dezembro de 1997.

_____. Lei nº 10.256, de 9 de julho de 2001. **Altera a Lei nº 8.212, de 24 de julho de 1991, a Lei nº 8.870, de 15 de abril de 1994, a Lei nº 9.317, de 5 de dezembro de 1996, e a Lei nº 9.528, de 10 de dezembro de 1997.** In: *Diário Oficial da União*, Brasília, 10 de julho de 2001.

_____. Lei nº 13.606, de 9 de janeiro de 2018. **Institui o Programa de Regularização Tributária Rural (PRR) na Secretaria da Receita Federal do Brasil e na Procuradoria-Geral da Fazenda Nacional; altera as Leis nºs 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.870, de 15 de abril de 1994, 9.528, de 10 de dezembro de 1997, 13.340, de 28 de setembro de 2016, 10.522, de 19 de julho de 2002, 9.456, de 25 de abril de 1997, 13.001, de 20 de junho de 2014, 8.427, de 27 de maio de 1992, e 11.076, de 30 de dezembro de 2004, e o Decreto-Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940 (Código Penal); e dá outras providências.** In: *Diário Oficial da União*, Brasília, 18 de abril de 2018.

BUENO, G. W.; CAMARGO, T. R.; SAMPAIO, F. G.; MACHADO, L. P.; ROUBACH, R. **Challenges to advance aquaculture 4.0 in Brazil.** *World Aquaculture*, 52(2): 37-42, 2021.

BUENO, G. W.; LEONARDO, A. F. G.; MACHADO, L. P.; BRANDE, M. R.; GODOY, E. M.; DAVID, F. S. **Indicadores de sustentabilidade socioambiental de pisciculturas familiares em área de Mata Atlântica, no Vale do Ribeira – SP.** *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 72(3): 901-910, 2020. DOI: 10.1590/1678-4162-11389

CAMPANATI, C.; WILLER, D.; SCHUBERT, J.; ALDRIDGE, D. C. **Sustainable Intensification of Aquaculture through Nutrient Recycling and Circular Economies: More Fish, Less Waste, Blue Growth.** *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(2): 143-169, 2022. DOI: 10.1080/23308249.2021.1897520

CAMPO, S. R. & ZUNIGA-JARA, S. **Reviewing capital cost estimations in aquaculture.** *Aquaculture Economics & Management*, 22(1): 1-22, 2018. DOI: 10.1080/13657305.2017.1300839

CASTRO, D. R. C.; BRABO, M. F.; ROCHA, R. M. da; CAMPELO, D. A. V.; VERAS, G. C.; RODRIGUES, R. P. **Custo de produção e rentabilidade da criação de tambaqui *Colossoma macropomum* no Estado do Pará, Amazônia, Brasil.** *Research, Society and Development*, 9(9): e58996522, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.6522.

CASTRO, A. L.; SOUZA, N. H.; BARROS, L. C. G. **Avaliação do sistema de produção de Tambaqui intensivo em viveiro de terra com aeração.** *Comunicado Técnico 09*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE, 2002, 4p.

CHAGAS, E. C.; GOMES, L. de C.; MARTINS-JÚNIOR, H.; ROUBACH, R. **Produtividade de tambaqui criado em tanque-rede com diferentes taxas de alimentação.** *Ciência Rural*, v. 37, n. 4, p. 1109-1115, 2007.

CHAGAS, E. C.; GOMES, L. de C.; MARTINS-JÚNIOR, H.; ROUBACH, R.; LOURENÇO, J. N. de P. **Desempenho de tambaqui cultivado em tanques-rede, em lago de várzea, sob diferentes taxas de alimentação.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(8): 833-835, 2005. DOI: 10.1590/S0100-204X2005000800015

COELHO, Y. K. da S.; TROMBETA, T. D.; BRABO, M. F.; ZACARDI, D. M. **A piscicultura no Baixo Amazonas: aspectos socioeconômicos, tecnológicos e produtivos.** *Research, Society and Development*, 9(11): 1-20, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i11.10598

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. *Custos de Produção Agrícola: A Metodologia da CONAB*. Sistemas de Operações – Subsistema de Gestão de Informações e Conhecimento. Superintendência de Informações da Agropecuária (SUINF). Brasília: CONAB, 2010, 60p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 20 de fevereiro de 2023.

_____. *Norma de Metodologia do Custo de Produção: 30.302*. Informações Agropecuárias – Custos de Produção. Superintendência de Informações da Agropecuária (SUINF). Brasília: CONAB, 2020, 45p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 24 de fevereiro de 2023.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 413 de 26 de julho de 2009. **Dispõe sobre o licenciamento ambiental da aquicultura, e dá outras providências.** In: *Diário Oficial da União*, Brasília, 30 de julho de 2009.

COSTA, M. W. M.; BICELLI, B. C.; RODRIGUES, R. P.; BRABO, M. F.; VERAS, G. C.; MONTEIRO, E. P. M.; SANTOS, M. A. S. dos. **Análise econômica de uma unidade de produção de alevinos na Região da Transamazônica, Sudoeste Paraense.** *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 10 n. 1, P. 444-460, 2021. DOI: 10.21664/2238-8869.2021v10i1.p444-460

COSTA, J.; FREITAS, R.; GOMES, A. L.; BERNARDINO, G.; CARNEIRO, D.; MARTINS, M. I. **Effect of stocking density on economic performance for *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816), juvenile in earthen ponds.** *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(1): 165-170, 2016. DOI: 10.3856/vol44-issue1-fulltext-18

COSTA, J. I. da; GOMES, A. L. S.; BERNARDINO, G.; SABBAG, O. J.; MARTINS, M. I. E. G. **Productive performance and economic evaluation of tambaqui roelo in excavated fishponds, Manaus, Brazil.** *Revista Agro@ambiente On-line*, v. 12, n. 3, p. 234-244, 2018. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v12i3.4895

COSTA, J. I. da; GOMES, A. L. S.; SABBAG, O. J.; MARTINS, M. I. E. G. **Economic evaluation of tambaqui “curumim” production in earth ponds in the metropolitan region of Manaus-Brazil.** *Revista Científica Rural*, v. 19, n. 2, p. 174-183, 2017.

COSTA, A. L. S. da; RODRIGUES, M. de S.; RICCI, F. **Caracterização da piscicultura na região de Ariquemes, no estado de Rondônia.** *Revista de Geografia Agrária*, v. 10, n. 20, p. 512-537, 2015. DOI: 10.14393/RCT102027341

COSTA, J. I. da; SABBAG, O. J.; MARTINS, M. I. E. G. **Scale efficiency in tambaqui farming in earth ponds in the Metropolitan Region of Manaus-AM.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 46(2): e584, 2020. DOI: 10.20950/1678-2305.2020.46.2.584

COSTA, F. V. L.; SEGUNDO, F. C. G. da S.; SOUZA, R. R. de. **Sistema de Monitoramento da Qualidade de Água para Piscicultura.** *Conjecturas*, 22(11): 511-534, 2022. DOI: 10.53660/CONJ-1396-Z17

COSTA, J. W. P.; SILVA, G. A. da; COSTA, M. W. M.; MATOS, S. C. do N.; SILVA, E. M. da; BRABO, M. F. **Aplicação do Método de Monte Carlo na Análise Econômica de uma Piscicultura Familiar no Estado do Pará, Amazônia, Brasil.** *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 11, n. 2, p. 104-115. 2022. DOI: 10.21664/2238-8869.2022v11i2.p104-115

CRAVEIRO, J. M. da C.; FREITAS, C. E. de C.; CAVERO, B. A. S.; JUNIOR, M. S. **Influência do Tempo de Alevinagem na Otimização da Produção de Biomassa do Tambaqui em Piscicultura Semi-Intensiva na Região Norte do Amazonas.** *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(4): 1-21, e04332, 2024. DOI: 10.24857/rgsa.v18n4-014

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

DANTAS-FILHO, J. V. **Gestão de Custos na Piscicultura no Município de Presidente Médici – Rondônia – Brasil.** *Associação Brasileira de Custos*, v. 12, n. 2, p. 29-52, 2017. DOI: 10.47179/abcustos.v12i2.425

DEBUS, D.; RIBEIRO-FILHO, G. V.; BERTOLINI, G. R. F. **Análise de estudos realizados sobre gestão financeira na piscicultura familiar.** *Custos e @gronegocio online*, v. 12, Edição Especial, p. 215-230, 2016.

FEITOZA, D. L. S.; SONODA, D. Y.; SOUZA, L. A. de. **Risco da rentabilidade em pisciculturas de tambaqui nos estados do Amazonas, Rondônia e Roraima.** *Revista iPecege*, 4(4): 40-53, 2018. DOI: 10.22167/r.ipecege.2018.4.40

FERREIRA, A. M.; FREITAS, C de O.; SOARES, M. de O.; FILHO, J. V. D.; SOUZA, R. H. B. de. **Viabilidade econômica do cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em tanques escavados abastecidos com e sem bombeamento.** In: FILHO, J. V. D.; FREITAS, C. de O.; CAVALI, J. (Org.) *Viabilidade econômica e aspectos produtivos de peixes nativos da Amazônia*. São José dos Pinhais: Brazilian Journals, cap. 2, p. 1-24, 2021. DOI: 10.35587/brj.ed.0000887

FERRI, L. S.; ROCHA, W. de S.; FILHO, M. do S. P. B. **Tendências e tecnologias sustentáveis na aquicultura: recirculação, aquaponia e bioflocos.** *Incaper em Revista*, v. 9, p. 66-78, 2018.

FRISSE, R. M.; MATOS, F. T. de; MORO, G. V.; MATTOS, B. O. de. **Stocking density of Amazon fish (*Colossoma macropomum*) farmed in a continental neotropical reservoir with a net cages system.** *Aquaculture*, 529: 735702, 2020. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735702

FURLANETO, F. de P. B. & ESPERANCINI, M. S. T. **Estudo da viabilidade econômica de projetos de implantação de piscicultura em viveiros escavados.** *Informações Econômicas*, v. 39, n. 2, p. 5-11, 2009.

GANDRA, A. L. *O mercado de pescado da região metropolitana de Manaus.* Série: O mercado do pescado nas grandes cidades latino-americanas. Proyecto mejoramiento del acceso a los mercados de productos pesqueros y acuícolas de la Amazônia – CFC/FAO/INFPESCA. Montevideu: Infopesca, 2010, 91p.

GARCEZ, J. R.; NÓBREGA, V. S. L. da; TORRES, T. P.; SIGNOR, A. A. **Cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em tanques-rede: Aspectos técnicos.** *Research, Society and Development*, 10(8): e45810817560, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i8.17560

GOMES, L. de C.; CHAGAS, E. C.; MANTINS-JÚNIOR, H.; ROUBACH, R.; ONO, E. A.; LOURENÇO, J. N. de P. **Cage culture of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in a central Amazon floodplain lake.** *Aquaculture*, 253(1-4): 374-384, 2006. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2005.08.020

GUERREIRO, L. R. J.; STREIT JR, D. P. S.; ROTTA, M. A. **Análises econômica e de custos em unidade produtora de alevinos de peixes reofilicos brasileiros.** *Custos e @gronegocio online*, v. 11, n. 4, p. 377-400, 2015.

HENARES, M. N. P.; MEDEIROS, M. V.; CAMARGO, A. F. M. **Overview of strategies that contribute to the environmental sustainability of pond aquaculture: rearing systems, residue treatment, and environmental assessment tools.** *Reviews in Aquaculture*, 12(1): 453-470, 2020. DOI: 10.1111/raq.12327

HILSDORF, A. W. S.; HALLERMAN, E.; VALLADÃO, G. M. R.; ZAMINHAN-HASSEMER, M.; HASHIMOTO, D. T.; DAIRIKI, J. K.; TAKAHASHI, L. S.; ALBERGARIA, F. C.; GOMES, M. E. de S.; VENTURIERI, R. L. L.; MOREIRA, R. G.; CYRINO, J. E. P. **The farming and husbandry of *Colossoma macropomum*: From Amazonian waters to sustainable production.** *Reviews in Aquaculture*, 00: 1-35, 2021. DOI: 10.1111/raq.12638

HURTADO, F. B.; FIGUEIREDO, F. M.; COSTA, R. L. da; BOMFIM, S. C.; QUEIROZ, C. B. de; PONTES, W. P. **Parâmetros limnológicos em viveiros de piscicultura semi-intensiva de tambaqui com abastecimento em disposição sequencial.** *Revista em Agronegocio e Meio Ambiente*, v. 11, n. 1, p. 9-30, 2018. DOI: 10.17765/2176-9168.2018v11n1p9-30

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Produção da Pecuária Municipal 2023*. Rio de Janeiro: IBGE, v. 51, p. 1-12, 2024. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br>> Acesso em 01 de dezembro de 2024.

INOUE, L. A. K. A.; BEZERRA, A. C.; MIRANDA, W. S.; MUNIZ, A. W.; BOIJINK, C. de L. **Cultivo de tabaqui em gaiolas de baixo volume: Efeito da densidade de estocagem na produção de biomassa**. *Ciência Animal Brasileira*, 15(4): 437-443, 2014. DOI: 10.590/1089-6891v15i426758

IZEL, A. C. U.; CRESCÊNCIO, R.; O’SULLIVAN, F. L. de A.; CHAGAS, E. C.; BOIJINK, C. L.; SILVA, J. I. **Produção intensiva de tabaqui em tanques escavados com aeração**. *Circular Técnica 39*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, 2013, 4p.

IZEL, A. C. U. & MELO, L. A. S. **Criação de tabaqui (*Colossoma macropomum*) em tanques escavados no Estado do Amazonas**. *Documento 32*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, 2004, 20p.

IZEL-SILVA, J.; ONO, E. A.; QUEIROZ, M. N. de; SANTOS, R. B. dos; AFFONSO, E. G. **Aeration strategy in the intensive culture of tabaqui, *Colossoma macropomum*, in the tropics**. *Aquaculture*, 529(3): 735644, 2020. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735644

KUMAR, G.; ENGLE, C.; TUCKER, C. **Factors Driving Aquaculture Technology Adoption**. *Journal of the World Aquaculture Society*, 49(3): 447-476, 2018. DOI: 10.1111/jwas.12514

KUMAR, A.; MOULICK, S.; MAL, B. C. **Selection of aerators for intensive aquacultural pond**. *Aquacultural Engineering*, 56: 71-78, 2013. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2013.05.003

LAKTUKA, K.; KALNBALKITE, A.; SNIEGA, L.; LOGINS, K.; LAUKA, D. **Towards the Sustainable Intensification of Aquaculture: Exploring Possible Ways Forward**. *Sustainability*, 15: 16952, 2023. DOI: 10.3390/su152416952

LI, P.; HAN, H.; ZHANG, S.; FANG, H.; FAN, W.; ZHAO, F.; XU, C. **Reviews on the development of digital intelligent fisheries technology in aquaculture**. *Aquaculture International*, 33: 191, 2025. DOI: 10.1007/s10499-025-01870-8

LIMA, C. A. S.; MACHADO-BUSSONS, M. R. F.; OLIVEIRA, A. T.; ARIDE, P. H. R.; O’SULLIVAN, F. L. A.; PANTOJA-LIMA, J. **Socioeconomic and profitability analysis of tabaqui *Colossoma macropomum* fish farming in the state of Amazonas, Brazil**. *Aquaculture Economics & Management*, 24(4): 406-421, 2020. DOI: 10.1080/13657305.2020.1765895

LIMA, C. A. S.; MACHADO-BUSSONS, M. R. F. M.; PANTOJA-LIMA, J. **Classificação dos sistemas de produção e grau de impacto ambiental das pisciculturas no estado do Amazonas, Brasil.** *Revista Colombiana de Ciência Animal*, 11(1): 707-721, 2019. DOI: 10.24188/recia.v11.n1.2019.707

LIMA, A. F.; RODRIGUES, A. P. O.; MACIEL, P. O.; PRYSTHON, A.; FLORES, R. M. V.; BEZERRA, T. A. **Small-scale fish farming in seasonal ponds in Brazil: technical and economic characterization.** *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(2): 314-329, 2018. DOI: 10.3856/vol46-issue2-fulltext-7

MARINHO-PEREIRA, T.; BARREIROS, N. R.; CRAVEIRO, J. M. C.; CAVERO, B. A. S. 2009. **O desempenho econômico na produção de tambaqui comparando dois sistemas de criação na Amazônia Ocidental.** *Revista INGEPRO*, v. 1, n. 10, p. 78-84, 2009.

MARTINS, L. M.; FRANCO, V.; FILHO, J. V. D.; FREITAS, C. de O. **Viabilidade econômica para o cultivo do tambaqui (*Colossoma macropomum*) em viveiro escavado no município de urupá, Rondônia-Brasil.** *Revista de Administração e Negócios da Amazônia*, v. 12, n. 2, p. 64-89, 2020. DOI: 10.18361/2176-8366/rara.v12n2p64-89

MARTIN, N. B.; SCORVO-FILHO, J. D.; SANCHES, E. G.; NOVATO, P. F. C.; AYROSA, L. M. da S. **Custo e retorno da piscicultura em São Paulo.** *Informações Econômicas*, v. 25, n. 1, p. 9-47, 1995.

MATSUNAGA, M.; BERNELMANS, P. F.; TOLEDO, P. E. N. de; DULLEY, R. D.; OKAWA, H.; PEDROSO, I. A. **Metodologia de custos de produção utilizada pelo IEA.** *Boletim Técnico do Instituto de Economia Agrícola*, v. 23, n. 1, p. 123-139, 1976.

MEANTE, R. E. X. & DÓRIA, C. R. da C. **Caracterização da cadeia produtiva da piscicultura no estado de Rondônia: Desenvolvimento e fatores limitantes.** *Revista de Administração e Negócios da Amazônia*, v. 9, n. 4, p. 164-181, 2017.

MEANTE, R. E. X.; SÁ, M. E. de; COSTA, S. M. A. L. **Análise econômica do cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) na região de Ariquemes – RO, Brasil.** *Custos e @gronegocio online*, v. 17, Edição Especial, p. 351-378, 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.** *Documento 18*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, 2001, 30p.

MELO, A. R. de & STIPP, N. A. F. **A Piscicultura em Cativeiro como Alternativa Econômica para as Áreas Rurais.** *Geografia*, v. 10, n. 2, p. 175-193, 2001.

MIKKOLA, H. **Aquaculture and Fisheries as a Food Source in the Amazon Region - A Review.** *Food & Nutrition Journal*, 8: 286, 2024. DOI: 10.29011/2575-7091.100186

MONTELO, R. H. C.; SANTOS, R. B. dos; FUGIMURA, M. M. S.; ONO, E. A.; CHAVES, F. A. H.; MATTIOLI, C. C.; AFFONSO, E. G. **Stocking densities of *Colossoma macropomum* in the initial grow-out phase using biofloc technology.** *Aquaculture International*, 32: 9933-9950, 2024. DOI: 10.1007/s10499-024-01643-9

MORAES, G. R. P. de; RUFINO, J. P. F.; FREITAS, C. E. de C. **Perfil produtivo e impactos no desenvolvimento da atividade piscícola nas microrregiões do Estado do Amazonas.** *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 14, Suplemento 1, p. 1-12, 2021. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14Supl.1.e8177

NASCIMENTO, C. do & GALLON, A. V. **A contabilidade como base informacional ao desenvolvimento da atividade aquícola: Um estudo multicaso.** *Gestão & Regionalidade*, v. 24, n. 69, p. 35-45, 2008.

NAKAUTH, A. C. S. S.; NAKAUTH, R. F.; NÓVOA, N. A. C. B. **Caracterização da piscicultura no município de Tabatinga-AM.** *IGAPÓ – Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFAM*, v. 9, n. 2, p. 54-64, 2015.

NASS, R. A. R.; POVH, J. A.; FORNARI, D. C.; RIBEIRO, R. P.; BRUMATTI, R. C. **Economic analysis of fish productions that use aerators in tanks: a case study in the Center-West region of Brazil.** *Custos e @gronegócio online*, v. 16, n. 1, p. 358-387, 2020.

NETO, E. B. B.; PRADO, G. F.; PRADO, G. A. F.; SOUSA, R. G. C. **Engorda de tambaquis (1 a 3 kg) arraçoados com dietas contendo 22 e 28% de proteína bruta.** *Scientia Amazonia*, 6(1): 1-8, 2017.

NOBILE, A. B.; CUNICO, A. M.; VITULE, J. R. S.; QUEIROZ, J.; VIDOTTO-MAGNONI, A. P.; GARCIA, D. A. Z.; ORSI, M. L.; LIMA, F. P.; ACOSTA, A. A.; SILVA, R. J. da; PRADO, F. D. do; PORTO-Foresti, F.; BRANDÃO, H.; Foresti, F.; OLIVEIRA, C.; RAMOS, I. P. **Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil.** *Aquaculture*, 12(3): 1495-1517, 2020. DOI: 10.1111/raq.12393

OLIVEIRA, C. M. & SOUZA, R. G. C. **Cultivo de tambaquis da pré-engorda ao abate com diferentes taxas de arraçoamento.** *Biota Amazônica*, 7(4): 20-25, 2017. DOI: 10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v7n4p20-25

OLIVEIRA, A. M.; VAL, V. M. F. de A.; VAL, A. L. **Caracterização da atividade de piscicultura nas mesorregiões do estado do Amazonas, Amazônia brasileira.** *Revista Colombiana de Ciência Animal*, 4(1): 154-162, 2012.

PANTOJA-LIMA, J.; SANTOS, S. M. dos; OLIVEIRA, A. T.; ARAUJO, R. L.; SILVA-JUNIOR, J. A. L.; ARIDE, P. H. R. **Pró-Rural Aquicultura: Relatos das principais ações de extensão tecnológica e um panorama do setor aquícola do estado do Amazonas, Brasil.** *Nexus-Revista de Extensão do IFAM*, v. 1, n. 1, p. 35-45, 2015.

PEDROZA-FILHO, M. X.; RODRIGUES, A. P. O. & REZENDE, F. P. **Dinâmica da produção de tambaqui e demais peixes redondos no Brasil**. CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. *Boletim Ativos da Aquicultura*, 2(7): 1-5, 2016.

PENHA, I. C. da S.; SILVA, H. M. de L.; MENDES, K. de F. M.; SILVA, F. B. A. da; ASSIS, A. S. de. **Piscicultura de água doce, utilizando o tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818), como espécie principal (Belém-PA)**. *Revista Valore*, 3(Edição Especial): 9-19, 2018. DOI: 10.22408/reva3020184849-19

PEREIRA-JÚNIOR, G. P.; PEREIRA, E. M. de O.; FILHO, M. P.; BARBOSA, P. de S.; SHIMODA, E.; BRANDÃO, L. V. **Desempenho produtivo de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum* CUVIER, 1818) alimentados com rações contendo farinha de crueira de mandioca (*Manihot esculenta*, CRANTZ) em substituição ao milho (*Zea mays*)**. *Acta Amazonica*, 43(2): 217-226, 2013.

PRAXEDES, A. A.; SOUZA, R. H. B. de; FILHO, J. V. D.; FREITAS, C de O. **Viabilidade econômica do cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em relação a outras atividades agropecuárias no estado de Rondônia**. In: FILHO, J. V. D.; FREITAS, C. de O.; CAVALI, J. (Org.) *Viabilidade econômica e aspectos produtivos de peixes nativos da Amazônia*. São José dos Pinhais: Brazilian Journals, cap. 2, p. 25-47, 2021. DOI: 10.35587/brj.ed.0000888

REZENDE, F. P. & BERGAMIN, G. T. **Implantação de piscicultura em viveiro escavados e tanques-rede**. In: RODRIGUES, A. P. O.; LIMA, A. F.; ALVES, A. L.; ROSA, D. K.; TORATI, L. S.; SANTOS, V. R. V. dos (Eds.) *Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos*. Brasília: Embrapa, p. 109-139, 2013.

ROA, F. G. B.; SILVA, S. dos S.; HOSHIBA, M. A.; SILVA, L. K. S. da; BARROS, A. F. de; ABREU, J. S. de. **Production performance of tambaqui juveniles subjected to short feed-deprivation and refeeding cycles**. *Boletim do Instituto de Pesca*, 45(4): e466, 2019. DOI: 10.20950/1678-2305.2019.45.4.466

RODRIGUES, A. P. O. **Nutrição e alimentação do tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. *Boletim do Instituto de Pesca*, 40(10): 35-145, 2014.

RODRIGUES, A. P. O.; FREITAS, L. E. L. de; MACIEL-HONDA, P. O.; LIMA, A. F.; LIMA, L. K. F. de. **Feeding rate and feeding frequency during the grow-out phase of tambaqui (*Colossoma macropomum*) in earthen ponds**. *Aquaculture Reports*, 35: 102000, 2024. DOI: 10.1016/j.aqrep.2024.102000

ROSSIGNOL, V. M.; MUELBET, B.; STOFFER, J.; SILVA, L. da C. e. **Viabilidade de piscicultura orgânica em uma unidade de produção familiar em Laranjeiras do Sul, Paraná**. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 19(2): 64-71, 2024. DOI: 10.18378/rvads.v19i2.10008

ROY, S. M.; JAYRAJ, P.; MACHAVARAM, R.; PAREEK, C. M.; MAL, B. C. **Diversified aeration facilities for effective aquaculture systems – a comprehensive review.** *Aquaculture International*, 29: 1181-1217, 2021. DOI: 10.1007/s10499-021-00685-7

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

SANTOS, R. B. dos; IZEL-SILVA, J.; FUGIMURA, M. M. S.; SUITA, S. M.; ONO, E. A.; AFFONSO, E. G. **Growth performance and health of juvenile tambaqui, *Colossoma macropomum*, in a biofloc system at different stocking densities.** *Aquaculture Research*, 00: 1-11, 2021. DOI: 10.1111/are.15196

SANTOS, M. Q. de C.; LIMA, M. do A. C.; SANTOS, L. dos; PEREIRA-FILHO, M.; ONO, E. A.; AFFONSO, E. G. **Feeding strategies and energy to protein ratio on tambaqui performance and physiology.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(8): 955-961, 2013. DOI: 10.1590/S0100-204X2013000800021

SANTOS, L.; PEREIRA-FILHO, M.; SOBREIRA, C.; ITUASSÚ, D.; FONSECA, F. A. L. da. **Exigência protéica de juvenis de tambaqui (*Colossoma macropomum*) após privação alimentar.** *Acta Amazonica*, 40(3): 597-604, 2010. DOI: 10.1590/S0044-59672010000300021

SANTOS, E. L.; SOARES, A. C. L.; TENÓRIO, O. L. D.; SOARES, E. C.; SILVA, T. J.; GUSMÃO-JÚNIOR, L. F.; SANTOS, E. L. **Desempenho de tambaquis (*Colossoma macropomum*) submetidos a restrição alimentar e a realimentação em tanques-rede.** *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 70(3): 931-938, 2018. DOI: 10.1590/1678-4162-9891

SILVA, C. A. da. **Productive performance of tambaqui *Colossoma macropomum* in cages in northeast of Brazil.** In: *European Aquaculture Society*. Netherlands: Aquaculture Europe 2015, pp. 749-750, 2015.

SILVA, A. C. C.; BARROS, A. F. de; MENDONÇA, F. M. F.; GAMA, K. F. da S.; MARCOS, R.; POVH, J. A.; FORNARI, D. C.; HOSHIBAM, A.; ABREU, J. S. de. **Performance and economic viability of tambaqui, *Colossoma macropomum*, selectively bred for weight gain.** *Acta Amazonica*, 50(2): 108-114, 2020. DOI: 10.1590/1809-4392201901992

SILVA, C. A. da & FUJIMOTO, R. Y. **Crescimento de tambaqui em resposta a densidade de estocagem em tanques-rede.** *Acta Amazonica*, 45(3): 323-332, 2015. DOI: 10.1590/1809-4392201402205

SILVA, W. de S. e; FERREIRA, A. L.; NEVES, L. do C.; FERREIRA, N. S.; PALHA, G. D. A.; TAKATA, R.; LUZ, R. K. **Effects of stocking density on survival, growth and stress resistance of juvenile tambaqui (*Colossoma macropomum*) reared in a recirculating aquaculture system (RAS).** *Aquaculture International*, 29: 609-621, 2021. DOI: 10.1007/s10499-021-00647-z

SILVA, C. R.; GOMES, L. C.; BRANDÃO, F. R. **Effect of feeding rate and frequency on tambaqui (*Colossoma macropomum*) growth, production and feeding costs during the first growth phase in cages.** *Aquaculture*, 264(1-4): 135-139, 2007. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.12.007

SILVA, L. de J. de S.; PINHEIRO, J. O. C.; CRESCÊNCIO, R.; CARNEIRO, E. de F.; PEREIRA, B. P.; BRITO, V. F. S. de. **Tecnologia e desenvolvimento rural: Aspectos do cultivo de tambaqui no município de Rio Preto da Eva, AM.** *Revista Terceira Margem Amazonia*, v. 3, n. 10, p. 170-196, 2018.

SILVA-GOMES, A. L.; COELHO-FILHO, J. G.; VIANA-SILVA, W.; BRAGA-OLIVEIRA, M. I.; BERNARDINO, G.; COSTA, J. I. **The impact of *Neoechinorhynchus buttnerae* (Golvan, 1956) (Eoacanthocephala: Neochinorhynchidae) outbreaks on productive and economic performance of the tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), reared in ponds.** *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(2): 496-500, 2017. DOI: 10.3856/vol45-issue2-fulltext-25

SONODA, D. Y.; FRANÇA, E. D.; CYRINO, J. E. P. **Modelo de preço de ração para peixe no período de 2001 a 2015.** *Revista iPecege*, 2(3): 57-71, 2016. DOI: 10.22167/r.ipecege.2016.3.57

SOUSA, A. S. C.; NETO, E. B.; LEITE, M. A. **Piscicultura e o custo de produção de peixe redondo em tanque escavado.** *Qualia: a ciência em movimento*, v. 2, n. 1, p. 01-25, 2016a.

SOUSA, R. G. C.; PIÑEYRO, J. I. G.; CARDOSO, N. A.; ANDRADE, J. E.; SILVA, J. G. da; BARBOSA, H. T. B. **Stocking density and its effects to the zootechnical development of young tambaqui in an intensive production system.** *Acta of Fisheries and Aquatic Resources*, 4(1): 80-92, 2016b. DOI: 10.2312/ActaFish.2016.4.1.80-92

SOUSA, R. G. C.; ROCHA, M. M. da; PONTUSCHKA, R. B. **Effects of mechanical aeration on tambaqui farming (*Colossoma macropomum*) in excavated tanks.** *Acta of Fisheries and Aquatic Resources*, 5(3): 122-128, 2017. DOI: 10.2312/ActaFish.2017.5.3.122-128

SOUZA, R. A. de; PADUA, D. M. C.; OLIVEIRA, R. P. de C. O.; MAIA, T. C. B. **Análise econômica da criação de tambaqui em tanques-rede: estudo de caso em assentamento da reforma agrária.** *Custos e @gronegocio online*, v. 10, n. 1, p. 253-268, 2014.

SOUZA, E. da S. de S.; PONTUSCHKA, R. B.; GARCEZ, R. **Viabilidade econômica do uso de aerador para o cultivo semi-intensivo de tambaqui em tanques escavados.** *Revista Desafios*, v. 4, n. 1, p. 50-61, 2017. DOI: 10.20873/uft.2359-3652.2017v4n1p50

VIEIRA, J. L. M. **Nutrição do tambaqui (*Colossoma macropomum*, Cuvier, 1818) na região norte do Brasil.** *Revista DELOS – Desarrollo Local Sostenible*, v. 11, n. 32, p. 1-12, 2018.

VILELA, M. C.; ARAÚJO, K. D. de; MACHADO, L. de S.; MACHADO, M. R. R. **Análise da viabilidade econômico-financeira de projeto de piscicultura em tanques escavados.** *Custos e @gronegocio online*, v. 9, n. 3, p. 154-173, 2013.

YOSHIOKA, E. T. O. **Cuidados Essenciais no Manejo Alimentar de Peixes Redondos Cultivados no Estado do Amapá.** *Comunicado técnico 97.* Macapá: Embrapa Amapá, Macapá, AP, 2014, 6p.

ZACARDI, D. M.; LIMA, M. A. S. de; NASCIMENTO, M. M.; ZANETTI, C. R. M. **Caracterização socioeconômica e produtiva da aquicultura desenvolvida em Santarém, Pará.** *Acta of Fisheries and Aquatic Resource*, 5(3): 102-112, 2017. DOI: 10.2312/ActaFish.2017.5.3.102-112

CAPÍTULO IV

INFLUÊNCIA DA ESTRATÉGIA PRODUTIVA SOBRE A SUSTENTABILIDADE DA PISCICULTURA DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*)

INFLUÊNCIA DA ESTRATÉGIA PRODUTIVA SOBRE A SUSTENTABILIDADE DA PISCICULTURA DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*)

INFLUENCE OF PRODUCTION STRATEGY ON THE SUSTAINABILITY OF TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*) FISH FARMING

LIMA, Carlos André Silva^{a,b}; LAVAREDA, Adria de Souza^b; CAVERO, Bruno Adan Sagratzki^b; PANTOJA-LIMA, Jackson^c; YAMAMOTO, Kedma Cristine^b

^aInstituto de Proteção Ambiental do Amazonas – IPAAM, Manaus, AM, Brasil.

^bUniversidade Federal do Amazonas – UFAM, Manaus, AM, Brasil.

^cInstituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM, Presidente Figueiredo, AM, Brasil.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a sustentabilidade do cultivo do tambaqui (*Colossoma macropomum*) para engorda (> 2 kg) sob três estratégias de intensificação em nove pisciculturas de tanques escavados, classificadas em: *Baixa Eficiência Produtiva (BEP)* – 6 a 8 t ano⁻¹ sem aeração; *Média Eficiência Produtiva (MEP)* – 9 a 14 t ano⁻¹ com aeração emergencial e *Alta Eficiência Produtiva (AEP)* – 15 a 22 t ano⁻¹ com aeração suplementar. Um conjunto de indicadores foi utilizado para avaliação das dimensões ambiental, econômica e social. Amostras de água, sedimentos e peixes foram coletados para determinar indicadores ambientais e entrevistas foram aplicadas aos piscicultores e funcionários para obtenção dos indicadores econômicos e sociais. Gráficos do tipo radar foram utilizados para análise do desempenho dos índices gerados entre as estratégias e um diagrama ternário foi aplicado para avaliar a interação entre as dimensões. Um Índice Geral de Sustentabilidade (IGS) também foi calculado e submetido a um *ranking* de classificação. Os indicadores ambientais mostram alta eficiência no uso de recursos e grande contrabalanceamento no lançamento poluentes com a intensificação. Apesar disso, menores índices de vulnerabilidade ecológica de *AEP* (88,89 ±19,25%) e adequação ambiental de *BEP* (38,89 ±9,62%) expõe deficiência no cumprimento de requisitos legais das fazendas. Na dimensão econômica, somente *AEP* apresentou viabilidade através dos indicadores de taxa de retorno positiva (16,56 ±5,30%) e recuperação do capital inferior a dez anos (4,83 ±0,87 anos), demonstrando maior diluição dos custos com o aumento na produção e comercialização de pescado. Piores resultados de métodos de inovação de *BEP* (21,21 ±5,25%) e capacidade de gerenciamento de *MEP* (22,22 ±19,25%) podem explicar o mau desempenho das estratégias nesta dimensão. Socialmente, todas fazendas apresentaram baixa demanda de mão-de-obra e retenção de empregos dos funcionários. Pisciculturas de *BEP* tiveram maior renda (R\$ 19.454,22 ±143,79 h. ciclo⁻¹), equidade salarial (55,28 ±0,00%) e trabalhadores com educação (13,33 ±11,55%), porém *AEP* também indicou benefícios como a alta contratação formal (33,33 ±0,00%) e conscientização (77,78 ±9,62%) quanto à percepção positiva sobre a atividade. A estratégia de *AEP* foi a mais equilibrada na disposição gráfica entre as dimensões, com maior tendência ao pilar econômico em relação à *BEP* e *MEP*, que se deslocaram em direção aos pilares ambiental e social, respectivamente. O melhor resultado do IGS de *AEP* classificou essa estratégia como a mais sustentável, sendo seguida, consecutivamente, por *MEP* e *BEP*, igualmente definidas como altamente sustentáveis. A intensificação é um fator determinante para o aumento da sustentabilidade da piscicultura do tambaqui, que além de gerar melhor uso de insumos e aumento do retorno financeiro aos piscicultores, produz benefícios aos demais atores envolvidos na atividade.

Palavras-chave: Benefício, eficiência, indicadores, intensificação, viabilidade.

1. INTRODUÇÃO

A demanda mundial por alimento tem crescido de forma expressiva, impulsionada pelo contínuo aumento da população humana e melhoria do seu poder aquisitivo em diversas regiões do planeta (GODFRAY *et al.*, 2010). Neste cenário, a aquicultura tem assumido crescente papel de relevância para a segurança alimentar, se mostrando uma alternativa à pesca extrativista, que já atingiu o limite de exploração de seus estoques naturais (FAO, 2024).

O rápido avanço do setor aquícola trouxe novos desafios para seu desenvolvimento de forma racional (LEIRA *et al.*, 2017; BOYD *et al.*, 2020; VALENTI *et al.*, 2021). Questões como o crescimento desordenado e adoção de práticas de cultivo inadequadas tem produzindo grandes problemas ambientais, como aumento da degradação de habitats e poluição da água pelo lançamento de efluentes e introdução de espécies exóticas invasoras (MACEDO & SIPAÚBA-TAVARES, 2010; SANTOS *et al.*, 2015; OTTINGER *et al.*, 2016; LEIRA *et al.*, 2017; ZANIBONI-FILHO *et al.*, 2018; VAL & OLIVEIRA, 2021; ARSHAD *et al.*, 2024).

Diante desta realidade, a busca por modelos produtivos aquícolas baseados em sustentabilidade emerge como uma questão essencial ao futuro da atividade (ENGLE, 2019; BOYD *et al.*, 2020; VALENTI *et al.*, 2021). Estratégias que envolvam otimização no uso de alimento, controle da eutrofização, melhorias das condições e práticas de manejo e preferência no uso de espécies nativas são fundamentais, pois favorecem a difusão do setor sob a ótica da proteção ambiental (MACEDO & SIPAÚBA-TAVARES, 2010; ZANIBONI-FILHO *et al.*, 2018; CAVALLI *et al.*, 2021; VALENTI *et al.*, 2021; ARSHAD *et al.*, 2024).

Neste contexto, o tambaqui (*Colossoma macropomum*) se destaca como uma espécie de grande potencial para a piscicultura, especialmente no Brasil (NOBILE *et al.*, 2020; VAL & OLIVEIRA, 2021; VALENTI *et al.*, 2021). Nativo da bacia Amazônica, o tambaqui possui características zootécnicas adequadas ao cultivo, como o rápido crescimento, rusticidade e grande aceitação no mercado consumidor (BARÇANTE & SOUZA, 2015; PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; MORAIS & O'SULLIVAN, 2017; VALENTI *et al.*, 2021; ARAÚJO *et al.*, 2024). Por sua capacidade de adaptação à diferentes sistemas produtivos, natureza onívora e boa eficiência na conversão alimentar, a espécie também se torna uma promissora escolha para sistemas de produção mais sustentáveis (ARSHAD *et al.*, 2024).

Apesar do seu potencial, o tambaqui ainda apresenta gargalos que limitam sua expressividade na aquicultura nacional. Baixa eficiência produtiva, falta de padronização no manejo, controle sanitário inadequado e pouco uso de tecnologia são fatores que impedem a maximização do desempenho e redução dos impactos ambientais na sua utilização (LIMA *et al.*, 2019; BRIDSON *et al.*, 2020; CAVALLI *et al.*, 2021; VALENTI *et al.*, 2021).

Superar limitações para alcançara a sustentabilidade não só do tabaqui, mas de outras espécies, envolve a adoção de estratégias que viabilizem a maior eficiência produtiva (ENGLE, 2019; ARSHAD *et al.*, 2024). Entre as medidas se incluem o desenvolvimento de linhagens geneticamente melhoradas voltadas ao maior crescimento e resistência a doenças dos animais, formulação de rações mais eficientes e implementação de tecnologias otimizadas de intensificação no cultivo (RESENDE, 2009; DANTAS-FILHO, 2017; PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; KUMAR *et al.*, 2018; ZANIBONI-FILHO *et al.*, 2018; ENGLE, 2019; CAVALLI *et al.*, 2021; VALENTI *et al.*, 2021; ARAÚJO *et al.*, 2024; ARSHAD *et al.*, 2024).

A sustentabilidade é um conceito que aborda o uso equilibrado dos recursos naturais no processo produtivo, visando conciliar a proteção ambiental com o desenvolvimento econômico e a equidade social (NOBILE *et al.*, 2020; VALENTI *et al.*, 2021). Na aquicultura, o equilíbrio na produção deve abranger principalmente a utilização eficiente da água e minimização na geração de resíduos, a geração de lucro e a garantia da distribuição equitativa de benefícios à comunidade local (OLIVEIRA, 2009; ARSHAD *et al.*, 2024; RADOSAVLJEVIC *et al.*, 2025).

Avaliar a sustentabilidade da aquicultura envolve o uso de metodologias específicas de mensuração entre diferentes sistemas (BOYD *et al.*, 2020; BRIDSON *et al.*, 2020). A análise do potencial de sustentabilidade inclui a síntese emergética (WILFART *et al.*, 2013; DAVID *et al.*, 2020; MORALES *et al.*, 2022), a pegada ecológica (ROTH *et al.*, 2000; GALLI *et al.*, 2016; JIANG *et al.*, 2022), a análise de ciclo de vida (LAZARD *et al.*, 2014; PAHRI *et al.*, 2015; CHUNG *et al.*, 2022), análise de resiliência (FOLKER *et al.*, 2004; KLUGER *et al.*, 2017) e o conjunto de indicadores (BOYD *et al.*, 2007; REY-VALETTE *et al.*, 2008; GARCIA & KIMPORA, 2012; VALENTI, 2013; VALENTI *et al.*, 2018), todos possuindo vantagens e desvantagens de utilização (GARCIA & KIMPORA, 2012; KIMPORA *et al.*, 2012).

O conjunto de indicadores é uma metodologia de avaliação da sustentabilidade que utiliza diferentes métodos combinados em uma abordagem multidimensional dos pilares ambiental, social e econômico (VALENTI *et al.*, 2011; 2013; 2018). Aplicar este conceito pode proporcionar meios de comparação de diferentes estratégias de cultivo e espécies aquícolas como o tabaqui, facilitando a identificação de pontos de intervenções e correções para o aprimoramento no seu uso (REY-VALETTE *et al.*, 2008; VALENTI *et al.*, 2011).

Portanto, o objetivo deste estudo foi aplicar um conjunto de indicadores para avaliar a sustentabilidade do cultivo do tabaqui em fazendas operacionais de terra firme com diferentes estratégias produtivas de intensificação, visando identificar o modelo que melhor otimizam recursos e minimizam os impactos ambientais, geram maior retorno financeiro e promovem bem-estar social aos atores envolvidos no setor.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido em empreendimentos de piscicultura de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em viveiros de terra firme localizados na Região Metropolitana de Manaus (RMM), situado no estado do Amazonas e inserido em zona equatorial na Amazônia Central (Figura 01).

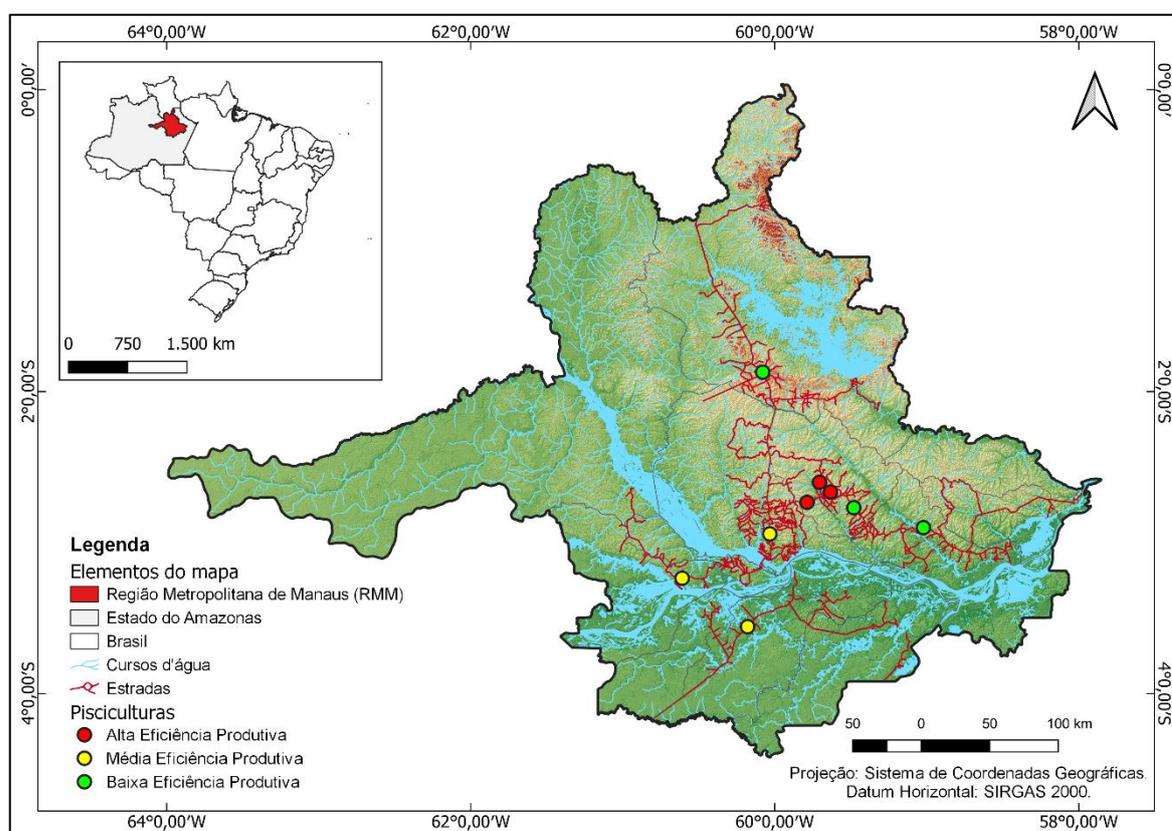


Figura 01. Área de estudo com localização dos empreendimentos selecionados.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Pertencente à região norte do Brasil e situado em zona equatorial na Amazônia Central, o estado possui clima tropical, que pelas condições ambientais favoráveis, aliadas as características da espécie, apresenta forte potencial para produção nesta modalidade de criação (GANDRA, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2012; PANTOJA-LIMA *et al.*, 2015a; 2015b; LIMA *et al.*, 2020; HILSDORF *et al.*, 2021; MORAES *et al.*, 2021).

2.2. CARACTERÍSTICAS DAS PISCICULTURAS

Nove pisciculturas foram utilizadas para avaliar a sustentabilidade no cultivo do tambaqui em três estratégias comerciais de intensificação: *Baixa Eficiência Produtiva (BEP)* – 6-8 t ha⁻¹ sem aeração; *Média Eficiência Produtiva (MEP)* – 9-14 t ha⁻¹ com aeração emergencial (quando O₂ < 3,0 mg L⁻¹) e *Alta Eficiência Produtiva (AEP)* – 15-22 t ha⁻¹ com aeração suplementar (noturna) contínua (para O₂ > 3,0 mg L⁻¹) (CAVERO *et al.*, 2009; IZEL *et al.*, 2013; BARÇANTE & SOUZA, 2015; MORAIS & O’SULLIVAN, 2017; COSTA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2019; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020).

Dentro das três estratégias, três fazendas foram consideradas como repetições para cada modelo de produção (BESSA JUNIOR *et al.*, 2024; NUNES *et al.*, 2024). A alocação das fazendas nos diferentes tratamentos levou em consideração a densidade e biomassa final produzida, observadas as taxas de estocagem e o peso final médio dos animais despesados nos tanques escavados (COSTA *et al.*, 2016; 2018; 2020).

Todos os empreendimentos realizaram produção em escala comercial de engorda em infraestruturas com lâminas d’água total de médio/grande porte¹ (CONAMA, 2009). O ciclo de cultivo foi o bifásico, composto pela alevinagem e recria, com peixes de 0 a 350 g obtidos no período de 40 a 90 dias, seguido da engorda e terminação, com animais de 350 a 3.000 g finalizados entre 330 a 380 dias (COSTA *et al.*, 2018; 2020; LIMA *et al.*, 2020).

Foram utilizados aeradores elétricos de aspersão (chafariz) comerciais na oxigenação dos tanques em *MEP* e *AEP* a uma taxa de eficiência padrão (*SAE*) de 1,69 kg O₂ cv⁻¹ h. Todas as estratégias realizaram assepsia dos tanques com 3.000 kg ha⁻¹ de calcários agrícola [CaMg(CO₃)₂] e fertilização com 30 kg ha⁻¹ de ureia [CH₄N₂O], previamente à recepção dos animais. Nas fazendas de *MEP* e *AEP* foi registrado o uso de probióticos do gênero *Bacillus* spp., inoculados na proporção de 5,0 x 10¹⁰ UFC g⁻¹ e taxa de 300 g ha⁻¹ semana durante todo o período de cultivo.

As pisciculturas adotaram rações comerciais extrusadas na alimentação dos animais, com teores de proteína bruta, granulometria, frequência alimentar e taxa de administração ajustados conforme a fase de crescimento. A despesca dos tanques foi total, sendo a comercialização do pescado *in natura* realizado diretamente nas fazendas (PEDROZA-FILHO *et al.*, 2016; MORAIS & O’SULLIVAN, 2017; BUENO *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2022).

¹ Porte das pisciculturas em viveiros escavados classificado conforme critério da área de lâmina d’água, com a definição das seguintes classes: Pequeno: < 5,0 hectares; Médio: 5,0 a 50,0 hectares e Grande: > 50,0 hectares, de acordo com a Resolução CONAMA N° 413/2009 (CONAMA, 2009).

2.3. COLETA DE DADOS DAS PISCICULTURAS

Biometrias mensais de 1,0 a 15,0% das populações de peixes foram realizadas em dois viveiros *in situ* nas propriedades para avaliação do desempenho da intensificação e classificação das estratégias de produção. Indicadores zootécnicos foram obtidas para peso inicial e final dos peixes, biomassa inicial e final, densidade inicial e final, produtividade, conversão alimentar aparente e mortalidade dos animais (BARROS & MARTINS, 2012; VILELA *et al.*, 2013; FEITOZA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2018; BARROS *et al.*, 2020; MONTELO *et al.*, 2024).

Informações de uso das infraestruturas, estratégias de manejo e aplicação de insumos na operacionalização das fazendas foram registradas para as avaliações do desempenho de variáveis ambientais aplicadas no processo produtivo. Além disso, foi levantado o atendimento de requisitos legais de adequação e regularização ambiental das pisciculturas, como o uso de sistema de tratamento de efluente, monitoramento da qualidade da água e gestão de resíduos (OLIVEIRA & SOUZA, 2017; BUENO *et al.*, 2020).

Dados financeiros de investimento e custos de produção, além de formas de comercialização do pescado foram armazenados para se estimar o desempenho econômico dos empreendimentos. Também foram coletadas informações sobre tempo atuação, grau de instrução e remuneração dos piscicultores e funcionários para avaliação das características socioeconômicas da atividade (VILELA *et al.*, 2013; CASTRO *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020).

2.4. SELEÇÃO DOS INDICADORES

A sustentabilidade foi representada por 49 indicadores, distribuídos entre as dimensões social, econômica e ambiental. Para a obtenção dos indicadores, foram empregadas metodologias e equações específicas (RABELO & LIMA, 2007; VALENTI *et al.*, 2011; O'RYAN & PEREIRA, 2015; MOURA *et al.*, 2016; VALENTI *et al.*, 2018), com índices calculados através dos dados coletados e valores baseados na produção (VALENTI *et al.*, 2011; CHOWDHURY *et al.*, 2015; O'RYAN & PEREIRA, 2015; MOURA *et al.*, 2016; VALENTI *et al.*, 2018; BOYD *et al.*, 2020; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024), conforme descrito a seguir.

2.4.1. Dimensão ambiental

A dimensão ambiental se baseou no princípio do menor uso de recursos e no mínimo impacto ao meio ambiente, através de um conjunto de 10 indicadores, representando 6 aspectos: *i)* Quantidade de recursos consumidos; *ii)* Eficiência no aproveitamento de recursos; *iii)* Comportamento de efluentes; *iv)* Comportamento de sedimentos; *v)* Vulnerabilidade ecológica e *vi)* Aspectos ambientais gerais (Tabela 01).

Tabela 01. Indicadores de sustentabilidade para o atributo de dimensão ambiental em análise de pisciculturas de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em viveiros escavados.

Aspecto	Indicadores	Equações ¹
A. USO DE RECURSOS NATURAIS		
Quantidade de recursos consumidos	Espaço (E_u)	$E_u = AA/P$
	Água (A_u)	$A_u = A/P$
	Energia (En_u)	$En_u = E/P$
Eficiência no aproveitamento de recursos	Produção Efetivamente Utilizada (PEU)	$PEU = MP_U/MP_P$
B. LANÇAMENTO DE POLUENTES		
Comportamento de efluentes	Nitrogênio (N)	$N = N_A/P$
	Fósforo (F)	$F = F_A/P$
Comportamento de sedimentos	Total de Sólidos em Suspensão (TSS)	$TSS = SS_A/P$
	Sedimentos (S)	$S = S_A/P$
C. CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE		
Vulnerabilidade ecológica	Grau de Vulnerabilidade Ecológica (GVE)	$GVE = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$
D. ADEQUAÇÃO AMBIENTAL		
Aspectos ambientais gerais	Grau de Adequação Ambiental (GAA)	$GAA = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

Fonte: Adaptado de Boyd *et al.* (2007), Valenti (2008), Valenti *et al.* (2011), Lazard *et al.* (2014), Brabo *et al.* (2015); O’Ryan & Pereira, (2015), Gholifar *et al.* (2017), Valenti *et al.* (2018), Stentiford *et al.* (2020), Mallick & Rudra (2021), Xu *et al.* (2024) e Robles-Herrera (2025).

⁽¹⁾: AA = Área alagada (ha); P = Produção (t); A = Água utilizada (m³); E = Energia utilizada (MJ); MP_U = Massa de pescado utilizada (kg); MP_P = Massa de pescado produzida (kg); N_A = Nitrogênio na água (kg); F_A = Fósforo na água (kg); SS_A = Sólidos em suspensão na água (kg); SS_A = Sedimentos na água (kg).

Os indicadores de uso de espaço e água foram calculados pela área alagada e o volume hídrico requerido para abastecimento e reposição das perdas por evaporação e infiltração dos tanques (BOYD, 2005; BOYD *et al.*, 2007). A taxa de reposição de água foi realizada por estimativa da capacidade de vazão da bomba utilizada e o tempo total de operação do equipamento durante a produção nas fazendas (BOYD, 2005; BOYD *et al.*, 2007; YOO & BOYD, 2012; ITUASSÚ & SPERA, 2018).

A energia foi obtida pela soma do valor energético gasto no consumo de ração, corretivos, fertilizantes, eletricidade para bombeamento e aeração, combustível e mão-de-obra, aplicados em um ciclo produtivo. Os valores caloríficos das rações foram calculados pela energia bruta a partir da composição centesimal do alimento especificados pelos fabricantes (HALVER, 1976; AGUIAR, 1996; SHAHZAD *et al.*, 2023; BRETT & GROVES, 2024). Adotou-se o valor energético de 6.917,00 kcal kg⁻¹ para a ureia e 133,00 kcal kg⁻¹ para o calcário dolomítico (MACEDÔNIO & PICCHIONI, 1985; MELLO, 1989). A energia para bombeamento de água e aeração considerou a potência útil requerida, multiplicada pela quantidade de horas de uso do equipamento (NATH & BOLTE, 1998; BOYD & GROSS, 2000; BOYD *et al.*, 2007; 2008; YOO & BOYD, 2012; KUMAR *et al.*, 2013; LEKANG, 2013; ITUASSÚ & SPERA, 2018; ROY *et al.*, 2021). O poder calorífico do combustível foi definido em 8.484,00 kcal l⁻¹ para o óleo diesel e 7.716,80 kcal l⁻¹ para a gasolina (MME, 2024). A força de trabalho da mão-de-obra utilizada foi de 500 kcal h⁻¹, que é a estimativa do gasto de energia médio do trabalho humano aplicado na agricultura (MELLO, 1989).

As cargas de poluentes para nitrogênio, fósforo e sólidos suspensos totais foram estimadas através de amostras de água de entrada e dos tanques, coletadas no início, meio e fim do cultivo (PEREIRA *et al.*, 2021). O nitrogênio foi determinado pelo método de persulfato e redução de cádmio (APHA, 2005; Método 4500-N C). Para a análise do fósforo total foi aplicado o método de digestão com persulfato (APHA, 2005; Método 4500-P B5) e método de cloreto de amido (APHA, 2005; Método 4500-P D), utilizando posteriormente um espectrofotômetro digital (Evolution™ 220) para leitura. O total de sólidos em suspensão foi obtido por método gravimétrico (APHA, 2005; Método 2540 D).

O sedimento gerado na produção foi quantificado através de câmaras de sedimentação instaladas nos tanques no início, meio e fim do cultivo (PEREIRA *et al.*, 2021). As câmaras foram compostas por seis tubos de 1,876 L em PVC, com 9,7 cm de diâmetro e 25,4 cm de altura, perfazendo 0,045 m² de área. Os amostradores foram instalados em duplicata no fundo dos viveiros por um período de 24 horas (BELMUDES *et al.*, 2021; PEREIRA *et al.*, 2021; HENRY-SILVA *et al.*, 2022; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024). Antes da fixação, os coletores foram preenchidos com água destilada, de modo a evita a sedimentação de material que não seja proveniente do cultivo. Após o período de coleta, amostras de água foram armazenadas para análises em laboratório. A quantidade de sedimentos na água foi quantificada pelo método gravimétrico (APHA, 2005; Método 2540 D). A sedimentação foi determinada pela relação entre o volume dos coletores, a concentração de material em suspensão, a superfície dos coletores e o tempo de coleta em dias, posteriormente extrapolado para a área alagada e o

período do ciclo de produção das pisciculturas (DAVID *et al.*, 2017a; VALENTI *et al.*, 2018; BELMUDES *et al.*, 2021; FIALHO *et al.*, 2021; PEREIRA *et al.*, 2021; HENRY-SILVA *et al.*, 2022; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024).

O grau de vulnerabilidade ecológica avaliou aspectos de riscos relacionados a conservação da biodiversidade. O índice foi determinado pela ocorrência dos seguintes fatores de avaliação: não utilização de espécie alóctone/exótica, não utilização de espécies geneticamente modificadas ou híbridas, não utilização de sistema de criação aberto ou inserido no corpo hídrico, não identificação da presença de patógenos nos animais, não utilização de produtos químicos ou hormônios no processo produtivo e não aplicação de medicamentos e outros fármacos na criação (GONZÁLEZ *et al.*, 2003; TAVECHIO *et al.*, 2009; BOYD *et al.*, 2013; SAMPAIO *et al.*, 2013; ARÊAS *et al.*, 2014; BRABO *et al.*, 2015; CHOWDHURY *et al.*, 2015; JONES *et al.*, 2015; O'RYAN & PEREIRA, 2015; MOURA *et al.*, 2016; GHOLIFAR *et al.*, 2017; VALENTI *et al.*, 2018; RODRIGUES *et al.*, 2019; CRUZ *et al.*, 2020; STENTIFORD *et al.*, 2020; FIALHO *et al.*, 2021; MALLICK & RUDRA, 2021; HENRY-SILVA *et al.*, 2022; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024; NUNES *et al.*, 2024; TRASSI *et al.*, 2024; ROBLES-HERRERA, 2025).

Quanto ao grau de adequação ambiental verificou o atendimento de requisitos legais e de regularização das pisciculturas. Para avaliação das fazendas foi considerado o atendimento dos seguintes fatores: execução de medidas de minimização do impacto visual das infraestruturas, implantação de sistema de tratamento de efluentes no cultivo, atendimento a padrões de qualidade de água estabelecidos na legislação², não ocorrência de multas e/ou sanções por não conformidades ambientais da atividade, existência de Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) e adoção de fontes de energia renovável no sistema de produção (AMARAL & FIALHO, 2006; HENRY-SILVA & CAMARGO, 2008; BOYD *et al.*, 2013; SAMPAIO *et al.*, 2013; BRABO *et al.*, 2015; JONES *et al.*, 2015; O'RYAN & PEREIRA, 2015; QUEIROZ, 2016; GHOLIFAR *et al.*, 2017; VALENTI *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2019; BOYD *et al.*, 2020; CRUZ *et al.*, 2020; STENTIFORD *et al.*, 2020; MALLICK & RUDRA, 2021; NUNES *et al.*, 2024; YUSOFF *et al.*, 2024; ROBLES-HERRERA, 2025).

² Valores de lançamentos para água doce (classes I e II) a serem atendidos: Oxigênio dissolvido (O₂): ≥ 5,0 mg L⁻¹; pH: 6,0 a 9,0; Temperatura (t): < 40 °C; Amônia (NH₃ + NH₄⁺): < 3,7 mg L⁻¹, para pH ≤ 7,5; Nitrito (N-NO₂): < 1,0 mg L⁻¹; Nitrato (N-NO₃): < 10,0 mg L⁻¹; Fósforo total (P): < 0,02 mg L⁻¹ (ambientes lênticos); Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅): ≤ 5,0 mg L⁻¹; Sólidos Dissolvidos Totais (STD): < 500 mg L⁻¹; Clorofila *a* (Clo): ≤ 30 µg L⁻¹ e Turbidez (Tur): ≤ 100 UNT, de acordo com as Resoluções CONAMA N^{os} 357/2005 e 430/2011 (CONAMA, 2005; 2011).

2.4.2. Dimensão econômica

A dimensão econômica se baseou no princípio da eficiência no uso do capital financeiro e resiliência a externalidades, sendo avaliada através de 12 indicadores, divididos em 7 aspectos: *i)* Desempenho econômico; *ii)* Experiência na atividade; *iii)* Preparo no gerenciamento do negócio; *iv)* Segurança legal e institucional; *v)* Uso de métodos de inovação na produção; *vi)* Segurança física da infraestrutura e *vii)* Relações de mercado (Tabela 02).

Tabela 02. Indicadores de sustentabilidade para o atributo de dimensão econômica em análise de pisciculturas de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em viveiros escavados.

Aspecto	Indicadores	Equações ¹
A. EFICIÊNCIA ECONÔMICA		
Desempenho econômico	Lucro (L)	$L = \frac{(R - C)P}{I}$
	Relação Receita-Investimento (RRI)	$RRI = \frac{R}{I}$
	Relação Benefício-Custo (RBC)	$RBC = \frac{R}{C}$
	Valor Presente Líquido (VPL)	$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t}$
	Taxa Interna de Retorno (TIR)	$TIR = 0 = -i + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1-TIR)^t}$
	Período de Recuperação do Capital (PRC)	$PRC = \frac{I}{\sum FC_{ano}}$
B. TAXA DE RISCO		
Experiência na atividade	Tempo de Experiência na Atividade (EA)	$EA = \sum_{i=0}^n \frac{F_i}{n}$
Preparo no gerenciamento do negócio	Grau de capacidade de Gerenciamento (CG)	$CG = \{1, 2, 3\}$
Segurança legal e institucional	Grau de segurança Institucional (SI)	$SI = \{1, 2, 3\}$
Uso de métodos de inovação na produção	Grau de inovação na Produção (IP)	$IP = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11\}$
Segurança física da infraestrutura	Grau de prevenção de Riscos (PR)	$PR = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$
Relações de mercado	Grau de relações de Mercado (RM)	$RM = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

Fonte: Adaptado de Boyd *et al.* (2007), Valenti (2008), Valenti *et al.* (2011), O’Ryan & Pereira, (2015), Gholifar *et al.* (2017), Valenti *et al.* (2018), Mallick & Rudra (2021), Meante *et al.* (2021) e Robles-Herrera (2025).

⁽¹⁾: R = Receita (R\$); C = Custo de Produção (R\$); P = Produção (kg); I = Investimento Inicial (R\$); FC_t = Valor de Lucro (L) final no ano *t* do fluxo de caixa (R\$); n = Prazo de análise do projeto (anos); *i* = Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para realizar o investimento (%); FC_{ano} = Valor de Lucro (L) anual (R\$); F_i = Número de anos em operação da fazenda *i*; n = número total de fazendas.

A análise econômica foi realizada ao final do cultivo (*ex-post*), com uso dos dados de desempenho produtivo gerados. Todas as despesas para operacionalização da atividade foram estimadas para investimentos iniciais na instalação da infraestrutura de viveiros e equipamentos, regularização, bem como os custos de produção (LIMA *et al.*, 2020; HENRY-SILVA *et al.*, 2022). O cálculo do custo de produção utilizou o método estruturado do custo operacional para atividades agrícolas proposto por Matsunaga *et al.* (1976). A avaliação dos

custos considerou despesas com insumos, mão-de-obra, manutenções e conservação de equipamentos, serviços, impostos e taxas para um ciclo de produção (FEITOZA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2020; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024). A modalidade de custos utilizada nos cálculos foi a do Custo Total de Produção (CTP), que compõe os componentes de remunerações do investimento, empresário e custeio, mais a depreciação, calculada pelo método linear (FEITOZA *et al.*, 2018; CASTRO *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020). Informações adicionais necessárias foram levantadas através de observações diretas, acesso a documentos, entrevistas com os piscicultores e consultas de preços no mercado local (CASTRO *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2021; HENRY-SILVA *et al.*, 2022; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024).

A receita bruta para cálculo do lucro, Relação Receita Investimento (RRI) e Relação Benefício Custo (RBC) foi baseada no preço médio por kg de pescado comercializado, multiplicado pela biomassa produzida. As projeções para os cálculos de Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Período de Recuperação do Capital (PRC) foram definidas para um fluxo de caixa com horizonte de dez anos, com aplicação de recurso realizada integralmente no ano zero (BARROS *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2020; MEANTE *et al.*, 2021; BOTELHO *et al.*, 2022). Nos cálculos de sensibilidade adotou-se a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) de 11,25% a.a., referente aos juros definido pelo Sistema Especial de Liquidação e Custódia (SELIC) no ano de 2024 (CASTRO *et al.*, 2020).

O tempo de experiência na atividade considerou a data de aquisição/implementação da piscicultura para acesso do piscicultor ao negócio. Para a capacidade de gerenciamento se observou o percentual de atendimento dos itens: existência de qualificação técnica do proprietário, existência de estudo de mercado da atividade e tempo de dedicação do piscicultor para conduzir o negócio. O indicador de segurança institucional foi avaliado pelo cumprimento das seguintes exigências: localização do empreendimento fora de áreas inadequadas³, manutenção de estabilidade nas leis e regulamentações e cumprimento de requisitos para aquisição de licenças e autorizações (WAITE *et al.*, 2014; O'RYAN & PEREIRA, 2015; GHOLIFAR *et al.*, 2017; VALENTI *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2019; MEANTE *et al.*, 2021; NUNES *et al.*, 2024; ROBLES-HERRERA, 2025).

³ Classifica-se como inadequadas as áreas sujeito a inundações, secas ou outras restrições climáticas, sob influência de poluição urbana, rural e industrial e com restrições legais, como por exemplo, as áreas ambientalmente protegidas (NUNES *et al.*, 2025).

A inovação na produção considerou o uso de métodos de aperfeiçoamento tecnológico no aumento da produtividade. Para o cálculo do índice observou-se a ocorrência dos requisitos: existência de diversificação na produção, existência de assistência técnica ou serviço de extensão, uso de mão-de-obra qualificada, aplicação de programas de Boas Práticas de Manejo (BPM's) no cultivo, existência de unidade produtora de alevinos própria, existência de sistema de controle de patógenos, existência de mecanismos de controle de predadores e escape dos animais, uso de alimentação adequada, existência de controle de aquisição e distribuição de insumos, promoção do incremento na produtividade e uso de tecnologias para agregação de valor ao pescado (MARTINS, 2004; AMARAL & FIALHO, 2006; SILVEIRA *et al.*, 2009; TAVECHIO *et al.*, 2009; BOYD *et al.*, 2013; SAMPAIO *et al.*, 2013; TAVARES-DIAS & FUGIMOTO, 2014; WAITE *et al.*, 2014; BRABO *et al.*, 2015; CHOWDHURY *et al.*, 2015; O'RYAN & PEREIRA, 2015; FREITAS *et al.*, 2016; QUEIROZ, 2016; QUEIROZ & BOEIRA, 2016; GHOLIFAR *et al.*, 2017; RODRIGUES *et al.*, 2019; CRUZ *et al.*, 2020; STENTIFORD *et al.*, 2020; MEANTE *et al.*, 2021; ARSHAD *et al.*, 2024; QUIRINO *et al.*, 2024; NUNES *et al.*, 2025).

Foi observado para a prevenção de riscos, a ocorrência de segurança física e mecanismos de proteção e prevenção de danos à infraestrutura de produção das fazendas. A avaliação ocorreu pela quantificação da proporção de cumprimento dos fatores: prática da atividade em condições de baixo adensamento, uso de equipamentos de segurança nas instalações, pouca proximidade com outras fazendas, uso de equipamentos de monitoramento ambiental na atividade, existência de mecanismo de rastreamento da produção, existência de programa de manutenção de máquinas e equipamentos, existência de sistema de vigilância e segurança contra roubos e furtos (BOYD *et al.*, 2013; SAMPAIO *et al.*, 2013; O'RYAN & PEREIRA, 2015; QUEIROZ & BOEIRA, 2016; ZANIBONI-FILHO *et al.*, 2018; TRASSI *et al.*, 2024; NUNES *et al.*, 2025; ROBLES-HERRERA, 2025).

O indicador de relação de mercado tem como função avaliar formas de se evitar riscos às pisciculturas pela incapacidade de manutenções financeiras e garantir a integração entre produção e comercialização do pescado (GHOLIFAR *et al.*, 2017; RODRIGUES *et al.*, 2019; ROBLES-HERRERA, 2025). Para a avaliação, obteve-se informações de atendimento dos requisitos: existência de mecanismos de subsídios ou financiamentos, identificação do imóvel como próprio, participação do proprietário em associações ou cooperativas, adoção da diversificação de mercado, existência de contrato de venda e ocorrência de proximidade do empreendimento com o mercado consumidor (BRABO *et al.*, 2015; GHOLIFAR *et al.*, 2017; RODRIGUES *et al.*, 2019; MASSA *et al.*, 2020; MEANTE *et al.*, 2021; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024; NUNES *et al.*, 2025).

2.4.3. Dimensão social

A dimensão social se baseou no princípio do desenvolvimento local com direitos e benefícios à comunidade envolvida na atividade piscícola, através de 27 indicadores, distribuídos entre 7 aspectos: *i)* Geração e manutenção de empregos; *ii)* Qualidade de renda e benefícios; *iii)* Capacitação e educação; *iv)* Saúde e segurança no trabalho; *v)* Igualdade de oportunidade; *vi)* Conflitos territoriais; *vii)* Desenvolvimento regional; *viii)* Promoção da participação e *ix)* Conscientização social e imagem (Tabela 03).

Tabela 03. Indicadores de sustentabilidade para o atributo de dimensão social em análise de pisciculturas de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em viveiros escavados.

Aspecto	Indicadores	Equações ¹
A. PRÁTICAS TRABALHISTAS		
Geração e manutenção de empregos	Criação de Empregos Diretos (ED)	$ED = T_{ED}/AA$
	Criação de Auto-empregos (AE)	$AE = T_{AE}/AA$
	Investimento na Criação de Empregos Diretos (IED)	$IED = I/T_{ED}$
	Investimento na Criação de Auto-empregos (IAE)	$IAE = I/T_{AE}$
	Investimento na Criação Total de Empregos (ITE)	$ITE = I/(T_{ED} + T_{AE})$
	Proporção de Auto-empregos (PAE)	$PAE = [T_{AE}/(T_{ED} + T_{AE})] \cdot 100$
	Trabalhadores Locais Empregados (PTL)	$PTL = (T_L/T_T) \cdot 100$
	Tempo dos Trabalhadores na Atividade (TTA)	$TTA = \sum_{i=0}^n TA_i/T_T$
Qualidade de renda e benefícios	Nível de Renda Média dos Trabalhadores (RMT)	$RMT = \sum_{i=0}^n ST_i/T_T$
	Equidade Salarial dos Trabalhadores (EST)	$EST = (1 - (DP_s/RMT)) \cdot 100$
	Remuneração de Trabalho por Área (RTA)	$IED = \sum S_T/AA$
	Remuneração de Trabalho por Produção (RTP)	$RTP = \sum S_T/P$
	Custo Proporcional do Trabalho (CPT)	$CPT = (C_T/C) \cdot 100$
	Distribuição Social de Receita (DSR)	$DSR = (C_T/L) \cdot 100$
	Trabalhadores com Carteira Assinada (PCA)	$PCA = (T_{CA}/T_T) \cdot 100$
	Trabalhadores com Programas de Saúde (PPS)	$PPS = (T_{PS}/T_T) \cdot 100$
Capacitação e educação	Trabalhadores com Educação (PTE)	$PTE = (T_{CE}/T_T) \cdot 100$
	Trabalhadores com Treinamentos (PTT)	$PTT = (T_{CT}/T_T) \cdot 100$
Saúde e segurança no trabalho	Nível de Segurança no Trabalho (NST)	$NST = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11\}$
B. RESPONSABILIDADE SOCIAL		
Igualdade de oportunidade	Inclusão Racial (IR)	$IR = \sum \min\{a, b\}$
	Inclusão de Gênero (IG)	$IG = \sum \min\{a, b\}$
	Inclusão Etária (IE)	$IE = \sum \min\{a, b\}$
C. TERRITÓRIO E COMPARTILHAMENTO DE RECURSOS		
Conflitos territoriais	Grau de Conflitos Territoriais (CT)	$CT = \{1, 2, 3\}$
Desenvolvimento regional	Grau de Consumo de Produtos Locais (CPL)	$CPL = GM_L/G_T$
	Grau de Consumo Local da Produção (CLP)	$CLP = QV_L/P$
D. GOVERNANÇA CORPORATIVA E INSTITUCIONAL		
Promoção da participação	Grau de Participação (GP)	$NST = \{1, 2, 3, 4, 5\}$
Conscientização social e imagem	Grau de Conscientização (GC)	$NST = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

Fonte: Adaptado de Boyd *et al.* (2007), Valenti (2008), Valenti *et al.* (2011), O’Ryan & Pereira (2015), Gholifar *et al.* (2017), Valenti *et al.* (2018), Stentiford *et al.* (2020), Mallick & Rudra (2021) e Robles-Herrera (2025).

(¹): T_{ED} = Número total de empregos diretos criados (un); T_{AE} = Número total de auto-empregos criados (un); T_L = Número de trabalhadores locais contratados (un); T_T = Número total de trabalhadores (un); TA_i = Tempo do trabalhador i na atividade (anos); ST_i = Salário do trabalhador i (R\$); DP_s = Desvio padrão dos salários (R\$); S_T = Salário dos trabalhadores (R\$); C_T = Custo do trabalho (R\$); T_{CA} = Número de trabalhadores com carteira assinada (un); T_{PS} = Número de trabalhadores com planos de saúde (un); T_{CE} = Número de trabalhadores que possuem oportunidade de estudar (un); T_{CT} = Número de trabalhadores que participaram de cursos e treinamentos (un); min = Valor mínimo; a = Percentual de inclusão do parâmetros no empreendimento (%); b = Percentual de inclusão do parâmetro na comunidade local (%); GM_L = Quantidade de gastos com produtos e serviços adquiridos dos mercados locais (R\$); G_T = Quantidade de gastos totais com produtos e serviços (R\$); QV_L = Quantidade de produtos vendidos nos mercados locais (kg); AA = Área alagada (ha); I = Investimento inicial (R\$ ha⁻¹); P = Produção (kg); C = Custo de produção (R\$); L = Lucro (R\$).

Para cálculo dos indicadores sociais, foram obtidas informações através fontes primárias em secundárias. Entrevistas com auxílio de formulários semiestruturados foram realizadas com os proprietários e funcionários das fazendas para levantamento do perfil socioeconômico, condições de ocupação e benefícios fornecidos pela atividade (FEITOZA *et al.*, 2018; BELMUDES *et al.*, 2021; HENRY-SILVA *et al.*, 2022; NUNES *et al.*, 2025). Dados secundários adicionais foram utilizados, através de acesso à documentos pessoais dos entrevistados e dos resultados de desempenho financeiros dos empreendimentos (RODRIGUES *et al.*, 2019; MEANTE *et al.*, 2021; NUNES *et al.*, 2025).

Os registros de criação de emprego levaram em consideração as contratações diretas e as indiretas através de prestadores de serviços autônomos (VALENTI *et al.*, 2018; MALLICK & RUDRA, 2021). O salário do trabalhador para os cálculos de renda, equidade, remuneração, custo e distribuição de receita, envolveu a soma dos gastos com pagamento, encargos e benefícios sociais fornecidas aos trabalhadores para um ciclo de produção. Observou-se a ocorrência de trabalhadores com carteira assinada e serviços de saúde privado fornecidos pelo piscicultor como forma de auxílio incluso nas condições de contratação (BRASIL, 1943; BAGASKARA, 2021).

Trabalhadores com educação e treinamento foram verificados, através da oportunidade de realização de instrução durante o período de trabalho ou tempo livre (VALENTI *et al.*, 2018). O nível de segurança de trabalho observou o percentual de ocorrência dos seguintes critérios: Uso de equipamento de proteção individual (EPI), manipulação de máquinas e equipamento, existência de iluminação adequada nas instalações, existência de instalações (elétricas e hidráulicas) adequadas no empreendimento, uso de máquinas e equipamentos que permitam boa postura e condições seguras de operação, implementação de estudos e programas de prevenção e gestão de riscos, realização de treinamentos à prevenção de acidentes, aplicação de métodos para a prevenção de lesões e doenças ocupacionais, existência de itens de sinalização de segurança nas instalações, existência de kit de primeiros socorros nas instalações, não ocorrência de acidentes ocupacionais entre os funcionários e não ocorrência de doenças ocupacionais entre os funcionários (BRABO *et al.*, 2015; MOURA *et al.*, 2016; HOLEN & UTNE, 2018; VALENTI *et al.*, 2018; FRY *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2019; CRUZ *et al.*, 2020; HENRY-SILVA *et al.*, 2022; ROBLES-HERRERA, 2025).

A inclusão racial considerou os cinco principais grupos étnicos do Brasil: Branco, Pardo, Preto, Amarelo e Indígena. Para as faixas etárias foram avaliadas as populações de jovens (10 a 19 anos), adultos (20 a 39), meia-idade (40 a 59) e idosos (≥ 60). Consultas sobre a composição da população local para gênero, raça, etnia e renda média para calcular se o perfil dos trabalhadores reflete a população local, foram obtidos junto à base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (IBGE, 2023).

O conflito territorial observou os seguintes itens: inexistência de conflitos pelo reconhecimento de direitos de propriedade e questões fundiárias, inexistência de conflitos por questões políticas com comunidades locais grupos representantes de classe e minorias e inexistência de conflitos pelo uso de recursos naturais associados (SAMPAIO *et al.*, 2013; WAITE *et al.*, 2014; BRABO *et al.*, 2015; GHOLIFAR *et al.*, 2017; VALENTI *et al.*, 2018; RODRIGUES *et al.*, 2019; NUNES *et al.*, 2025; ROBLES-HERRERA, 2025). Para o grau de consumo de produtos locais e consumo local da produção se considerou como área de abrangência a Região Metropolitana de Manaus (AMAZONAS, 2007).

Foram avaliados no grau de participação comunitária das pisciculturas a ocorrência dos fatores: agregação do negócio com atividades complementares integradas, contribuição no fortalecimento da cadeia produtiva, contribuição para o bem-estar e desenvolvimento da comunidade, existência de incentivo ao envolvimento participativo e influência da comunidade e fortalecimento de grupos de representantes ou organizações de classe (MURPHY, 2012; BRABO *et al.*, 2015; O'RYAN & PEREIRA, 2015; MOURA *et al.*, 2016; GHOLIFAR *et al.*, 2017; VALENTI *et al.*, 2018; RODRIGUES *et al.*, 2019; CRUZ *et al.*, 2020; STENTIFORD *et al.*, 2020; HENRY-SILVA *et al.*, 2022; ROBLES-HERRERA, 2025). Para o desempenho do nível de conscientização foram verificados: existência de incentivo a ações de proteção ambiental, promoção da liberdade de associação e negociação coletiva, promoção de relação ética com o consumidor, promoção de boas práticas de criação voltadas ao princípio ético de respeito ao bem-estar animal, investimento em pesquisa científicas na disseminação de conhecimento e promoção da valorização do produto (OLIVEIRA & GALHARDO, 2007; FERREIRA & GIL BARCELLOS, 2008; SILVEIRA *et al.*, 2009; SAMPAIO *et al.*, 2013; TAVARES-DIAS & FUGIMOTO, 2014; BRABO *et al.*, 2015; GHOLIFAR *et al.*, 2017; FERREIRA *et al.*, 2018; VALENTI *et al.*, 2018; RODRIGUES *et al.*, 2019; CRUZ *et al.*, 2020; NUNES *et al.*, 2025; ROBLES-HERRERA, 2025).

2.5. CÁLCULO DE DESEMPENHO DOS INDICADORES

Foram obtidos valores de média e desvio padrão dos dados brutos de indicadores dos modelos produtivos, sendo em seguida submetidos à Análise de Variância (ANOVA) a 5% de significância para comparação. O teste *post-hoc* de Tukey foi aplicado na comparação das médias quando constatada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores.

A transformação de arco seno foi utilizada para conversão dos indicadores apresentados em porcentagem, associados a uma distribuição binomial. Posteriormente, cada indicador foi convertido em uma escala de desempenho com pontuações variando de 0 a 1 para padronização (RABELO & LIMA, 2007; BELLEN, 2008; VALENTI, 2008; 2013; VALENTI *et al.*, 2018). O modelo produtivo com o melhor valor do indicador, ou interpretado como mais sustentável em comparação aos outros, foi arbitrariamente pontuado com o valor 1 e os demais determinados por proporção (VALENTI, 2008; 2013; VALENTI *et al.*, 2018).

Após as conversões, os valores gerados pela pontuação dos indicadores dos modelos foram agrupados conforme os aspectos estabelecidos para o cálculo dos índices de sustentabilidade de cada dimensão (ambiental, econômico, social) (SICHE *et al.*, 2007; VALENTI, 2008), considerando a definição de igual importância (pesos) a todos os indicadores utilizados, através da equação 1:

$$I_w = \sum_{j=1}^{m_w} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_{jw}} \left(\frac{E_{ijw}}{n_{jw}} \right)}{m_w} \right]_{jw} \quad (1)$$

Onde I_w = índices que compõe o índice de sustentabilidade ambiental, econômica e social⁴; E_{ijk} = escore do i -ésimo indicador do j -ésimo aspecto na w -ésima dimensão de I_w ; $i = 1, \dots, n_{jw}$, número total de indicadores do j -ésimo aspecto na w -ésima dimensão de I_w ; $j = 1, \dots, m_w$, número total de aspectos na w -ésima dimensão do I_w ; e $w = 1, \dots, 3$, número de dimensões que compõem o índice de sustentabilidade.

⁴ O índice equivale a transformar os valores dos indicadores em um *quantum* que varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 o valor do índice I_w , melhor o desempenho do objeto de estudo ambiental, atividade econômica ou comunidade, no aspecto em questão (RABELO & LIMA, 2007).

A obtenção de um “*score*” único ou Índice⁵ Geral de Sustentabilidade (IGS) foi realizado pelo desempenho das dimensões (sub-índices) agregadas (SICHE *et al.*, 2007), também considerando seu o igual pesos ou importância, através da equação 2:

$$IGS = \frac{1}{q} \sum_{w=1}^q I_w \quad (2)$$

Onde **IGS** = índice geral de sustentabilidade; e **I_w** = valor do *w*-ésimo índice de sustentabilidade da dimensão ambiental, econômica e social; **w** = 1, ..., *q*, número total de dimensões (neste caso, 3).

2.6. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS DE DESEMPENHO

Para as análises, os resultados dos índices de desempenho por dimensão foram expressos em diagramas multidimensionais para melhor compreensão e interpretação dos valores produzidos (VALENTI, 2008; LAZARD *et al.*, 2014). Foram utilizados gráficos de radar para comparação do comportamento do conjunto de variáveis dos subíndices por aspectos definidos (VALENTI, 2008; LAZARD *et al.*, 2014; RODRIGUES, 2016; CRUZ *et al.*, 2020).

Os resultados do IGS também foram dispostos em gráfico do tipo diagrama ternário (*Ternary Plot*) para visualização do comportamento dos modelos produtivos através da distribuição espacial (locacional) pela interação entre as três dimensões de sustentabilidade (MOURA *et al.*, 2016; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024; XU *et al.*, 2024). Além disso, os valores de IGS foram classificados em uma escala de performance definida de 0 a 100, considerando cinco intervalos iguais, onde 0 representa o cenário “insustentável” e 100 o “sustentável” dos modelos avaliados (VALENTI, 2008; 2013; MOURA *et al.*, 2016).

2.7. AUTORIZAÇÃO PARA PESQUISA COM SERES HUMANOS

Considerando a realização de investigação científica com seres humanos, o projeto foi submetido à apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos – CEPH, com emissão da autorização (CAAE Nº 55405422.1.0000.5020) para coleta de informações dos piscicultores e trabalhadores pesquisados em campo, em conformidade com o Código de Ética da Agência Nacional de Saúde – ANS (Resolução CNS Nº 466/12).

⁵ O índice é o valor agregado de todos os procedimentos de cálculos, obtido tem como principal função permitir o conhecimento do grau de sustentabilidade no qual se encontra o que se avalia (SICHE *et al.*, 2007).

3. RESULTADOS

3.1. INFORMAÇÕES PRODUTIVAS

3.1.1. Parâmetros de produção

Os resultados demonstraram que a aeração aplicada nas estratégias produtivas de *MEP* e *AEP* produz um consumo energético de $3,13 \pm 0,58$ a $5,78 \pm 0,33$ cv ha⁻¹, refletindo na operação média de $653,00 \pm 35,71$ e $1.419,17 \pm 0.030,18$ h ciclo⁻¹ dos equipamentos utilizados, respectivamente (Tabela 04).

Tabela 04. Parâmetros de produção do tambaqui (*Colossoma macropomum*) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.

Itens ¹	Modelos Produtivos		
	Baixa Eficiência Produtiva	Média Eficiência Produtiva	Alta Eficiência Produtiva
AA (ha)	7,51 ±2,40	11,43 ±7,55	15,33 ±4,98
AA _d (ha)	0,49 ±0,19	0,74 ±0,65	0,91 ±0,17
Tc (dias)	413,33 ±3,06	406,00 ±16,46	378,00 ±18,19
CP _a	0,87 ±0,01	0,89 ±0,04	0,95 ±0,05
Ae _{ta} (cv ha ⁻¹)	0,00 ±0,00	3,13 ±0,58	5,78 ±0,33
Ae _{op} (h ciclo ⁻¹)	0,00 ±0,00	653,00 ±35,71	1.419,17 ±0.030,18
A _{TR} (% dia ⁻¹)	2,04 ±0,71	2,04 ±0,49	2,02 ±0,33
Co _{rip}	Calcário agrícola	Calcário agrícola	Calcário agrícola
Co (kg ciclo ⁻¹)	22.519,80 ±7.204,97	34.299,90 ±22.639,22	45.993,60 ±14.953,26
Fe _{rip}	Ureia	Ureia	Ureia
Fe (kg ciclo ⁻¹)	225,20 ±72,05	343,00 ±226,39	360,64 ±316,56
Me _{rip}	N/A	Probiótico	Probiótico
Me (kg ciclo ⁻¹)	0,00 ±0,00	125,12 ±85,11	153,33 ±44,81
S _{rip}	Alevino	Alevino	Alevino
P _f (g)	2.455,13 ±63,72	2.687,42 ±69,42	2.726,53 ±136,99
C _f (cm)	49,86 ±0,73	51,07 ±0,49	50,35 ±1,53
E _f (peixe ha ⁻¹)	2.939,27 ±22,06	4.879,20 ±52,15	7.114,17 ±2,54
Pro (kg ha ⁻¹ ano)	6.284,75 ±137,98	11.639,33 ±562,89	18.520,61 ±1.643,68
A _{PB} (%)	28 - 45	28 - 46	28 - 45
A _{fre} (x dia)	1 - 4	1 - 4	1 - 6
A _{qt} (kg ciclo ⁻¹)	104.309,52 ±34.062,57	275.204,03 ±182.511,08	538.880,52 ±175.211,80
CAA (%)	1,93 ±0,01	1,83 ±0,07	1,82 ±0,02
Mo (%)	0,53 ±0,25	0,35 ±0,36	0,09 ±0,04

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

⁽¹⁾: AA = Área alagada; AA_d = Área alagada média do dispositivo; Tc = Tempo de cultivo; CP_a = Ciclos de produção anual; Ae_{ta} = Taxa de aeração; Ae_{op} = Operação média dos aeradores; A_{TR} = Taxa de renovação de água; Co_{rip} = Tipo de corretivo; Co = Quantidade de corretivo; Fe_{rip} = Tipo de fertilizante; Fe = Quantidade de fertilizante; Me_{rip} = Tipo de medicamento; Me = Quantidade de medicamento; S_{rip} = Tipo de sementes; P_f = Peso final; C_f = Comprimento final; E_f = Estocagem final; Pro = Produtividade; A_{PB} = Proteína bruta no alimento; A_{fre} = Frequência alimentar; A_{qt} = Quantidade de ração; CAA = Conversão Alimentar Aparente; Mo = Mortalidade.

A estocagem foi melhor em *AEP*, chegando a $7.114,17 \pm 2,54$ peixes ha⁻¹, favorecendo, juntamente o melhor peso de $2.726,53 \pm 136,99$ g, a alta produtividade de $18.520,61 \pm 1.643,68$ kg ha⁻¹ ano desta estratégia. Já os índices de manejo produtivo de CAA e mortalidade mostram o pior resultado para *BEP*, com $1,93 \pm 0,01$ e $0,53 \pm 0,25\%$.

3.1.2. Parâmetros de sustentabilidade

Dados ambientais indicam maior consumo de água para *BEP*, com $41.169,99 \pm 7.187,80$ $m^3 ha^{-1}$ e energia para *AEP*, com $618.769,65 \pm 33.586,49$ $MJ ha^{-1}$. As pisciculturas de *AEP* também demonstram maior concentração média de poluentes na água para fósforo ($6,98 \pm 0,66$ $kg ha^{-1}$), sólidos em suspensão totais ($1.276,67 \pm 232,13$ $kg ha^{-1}$) e sedimentos ($3.018,68 \pm 3.004,80$ $kg ha^{-1}$) (Tabela 05).

Tabela 05. Parâmetros de sustentabilidade do tambaqui (*Colossoma macropomum*) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.

Dimensão	Itens ¹	Modelos Produtivos		
		Baixa Eficiência Produtiva	Média Eficiência Produtiva	Alta Eficiência Produtiva
Ambiental	A ($m^3 ha^{-1}$)	41.169,99 \pm 7.187,80	35.448,82 \pm 2.212,16	35.357,41 \pm 1.486,68
	E ($MJ ha^{-1}$)	259.278,62 \pm 13.768,97	422.169,17 \pm 10.095,12	618.769,65 \pm 33.586,49
	N _A ($kg ha^{-1}$)	73,41 \pm 16,54	49,53 \pm 23,72	20,10 \pm 8,25
	F _A ($kg ha^{-1}$)	6,64 \pm 2,05	6,47 \pm 1,28	6,98 \pm 0,66
	SS _A ($kg ha^{-1}$)	1.048,68 \pm 99,25	1.207,92 \pm 270,15	1.276,67 \pm 232,13
	S _A ($kg ha^{-1}$)	1.122,16 \pm 139,95	1.918,61 \pm 985,28	3.018,68 \pm 3.004,80
Econômico	P _{peixe} (R\$ kg^{-1})	13,00 \pm 0,00	13,00 \pm 0,00	13,00 \pm 0,00
	I (R\$ kg^{-1})	28,99 \pm 3,52	17,11 \pm 5,57	10,62 \pm 0,72
	CTP (R\$ kg^{-1})	14,36 \pm 1,32	11,28 \pm 1,61	10,60 \pm 0,68
	L (R\$ kg^{-1})	-1,36 \pm 1,32	1,72 \pm 1,61	2,40 \pm 0,68
Social	Id _p (anos)	65,67 \pm 9,29	56,67 \pm 17,04	54,67 \pm 7,77
	Ea _p (anos)	11,20 \pm 0,69	15,36 \pm 4,84	11,22 \pm 8,63
	Cp _p (h)	20,00 \pm 34,64	13,33 \pm 23,09	26,67 \pm 11,55
	Re _p (R\$ ciclo ⁻¹)	221.946,16 \pm 117.356,87	798.647,77 \pm 646.716,75	1.344.060,24 \pm 374.590,24
	Qd _f (un)	5,00 \pm 0,00	5,33 \pm 0,58	6,00 \pm 0,00
	Id _f (anos)	32,60 \pm 4,50	35,01 \pm 4,63	39,28 \pm 8,51
	Ea _f (anos)	1,67 \pm 1,11	1,69 \pm 0,37	1,75 \pm 0,54
	Cp _f (horas)	6,67 \pm 11,55	6,67 \pm 11,55	6,67 \pm 11,55
	Re _f (R\$ ciclo ⁻¹)	19.454,22 \pm 143,79	19.109,07 \pm 774,82	17.791,20 \pm 856,30

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

⁽¹⁾: A = Água utilizada; E = Energia utilizada; N_A = Quantidade de nitrogênio na água; F_A = Quantidade de fósforo na água; SS_A = Quantidade de sólidos em suspensão na água; S_A = Quantidade de sedimentos na água; P_{peixe} = Preço de venda do pescado; I = Investimento; CTP = Custo total de produção; L = Lucro; Id_p = Idade do piscicultor; Ea_p = Experiência do piscicultor; Cp_p = Capacitação do piscicultor; Re_p = Renda do piscicultor; Qd_f = Quantidade de funcionários; Id_f = Idade média dos funcionários; Ea_f = Experiência média dos funcionários; Cp_f = Capacitação média dos funcionários; Re_f = Renda média dos funcionários.

O índice econômico de investimento médio foi maior em pisciculturas de *BEP*, com o valor de R\$ 28,99 \pm 3,52 kg^{-1} sendo afetado pela menor produção. O custo foi de R\$ 14,36 \pm 1,32 kg^{-1} para *BEP*, superior ao preço de comercialização de R\$ 13,00 kg^{-1} , resultando em lucro negativo de -R\$ 1,36 \pm 1,32 kg^{-1} ano desse modelo, contra R\$ 1,72 \pm 1,61 kg^{-1} ano de *MEP* e R\$ 2,40 \pm 0,68 kg^{-1} ano em *AEP*.

Quanto ao aspecto social, a maior idade média do piscicultor foi de 65,67 \pm 9,29 anos para *BEP*, maior experiência de 15,36 \pm 4,84 anos para *MEP* e melhor renda de R\$ 17,91 \pm 4,99 kg⁻¹ para *AEP*. Sobre os funcionários, destaca-se a maior idade (39,28 \pm 8,51 anos) e o tempo de experiência (1,75 \pm 0,54 anos) para pisciculturas de *AEP*, sendo observado maior renda média (R\$ 0,26 \pm 0,00 kg⁻¹) nos empreendimentos *BEP*.

3.2. INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

3.2.1. Indicadores ambientais

Os indicadores de uso de recursos naturais apresentaram valores significativamente ($p < 0,05$) superiores para os modelos de *BEP* em relação a *MEP* e *AEP* no uso dos fatores ambientais de espaço (0,14 \pm 0,00 ha t⁻¹), água (5.702,17 \pm 948,67 m³ t⁻¹) e energia (35.933,25 \pm 1.742,72 MJ t⁻¹) na produção de biomassa do tambaqui, conforme tabela 06.

Tabela 06. Parâmetros de desempenho ambiental do tambaqui (*Colossoma macropomum*) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.

Aspecto ¹	Indicador ²	Modelos Produtivos			p-valor ³
		Baixa Eficiência Produtiva	Média Eficiência Produtiva	Alta Eficiência Produtiva	
A. USO DE RECURSOS NATURAIS					
i	E _u (ha t ⁻¹)	0,14 \pm 0,00 ^a	0,08 \pm 0,00 ^b	0,05 \pm 0,00 ^c	< 0,001
	A _u (m ³ t ⁻¹)	5.702,17 \pm 948,67 ^a	2.705,92 \pm 209,17 ^b	1.825,60 \pm 111,16 ^b	< 0,001
	En _u (MJ t ⁻¹)	35.933,25 \pm 1.742,72 ^a	32.216,58 \pm 1.320,99 ^b	31.897,58 \pm 427,47 ^b	0,0151
ii	PEU (%)	100,00 \pm 0,00	100,00 \pm 0,00	100,00 \pm 0,00	-
B. LANÇAMENTO DE POLUENTES					
iii	N (kg t ⁻¹)	10,15 \pm 2,13 ^a	3,76 \pm 1,76 ^b	1,02 \pm 0,39 ^b	0,0012
	F (kg t ⁻¹)	0,92 \pm 0,27 ^a	0,49 \pm 0,10 ^b	0,36 \pm 0,02 ^b	0,0153
	TSS (kg t ⁻¹)	145,27 \pm 12,29 ^a	91,87 \pm 18,95 ^b	65,53 \pm 8,99 ^b	0,0012
iv	S (kg t ⁻¹)	155,78 \pm 22,22	145,58 \pm 73,85	161,18 \pm 167,23	0,9844
C. CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE					
v	GVE (%)	88,89 \pm 9,62	94,44 \pm 9,62	88,89 \pm 19,25	0,8503
D. ADEQUAÇÃO AMBIENTAL					
vi	GAA (%)	38,89 \pm 9,62	58,89 \pm 8,39	44,44 \pm 9,62	0,0877

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

(¹): i = Quantidade de recursos consumidos; ii = Eficiência no aproveitamento de recursos; iii = Comportamento de efluentes; iv = Comportamento de sedimentos; v = Vulnerabilidade ecológica; vi = Aspectos ambientais gerais.

(²): E_u = Uso de Espaço; A_u = Uso de Água; En_u = Uso de Energia; PEU = Produção Efetivamente Utilizada; N = Total de Nitrogênio; F = Total de Fósforo; TSS = Total de Sólidos em Suspensão; S = Total de Sedimento; GVE = Grau de Vulnerabilidade Ecológica; GAA = Grau de Adequação Ambiental.

(³): Médias \pm desvio-padrão com letras iguais na mesma linha para o mesmo indicador não diferem significativamente ($p > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

Nota-se que indicadores de água e energia não apresentam diferença estatística ($p > 0,05$) entre *AEP* e *MEP*, que utilizam menos esses recursos por tonelada de pescado que *BEP*. Sobre a produção efetivamente utilizada, é constatado que os animais despescados são totalmente (100%) aproveitados na comercialização em todos os modelos.

Os maiores valores de nitrogênio, fósforo e TSS foram obtidos em *BEP* no comportamento dos efluentes, com $10,15 \pm 2,13$, $0,92 \pm 0,27$ e $145,27 \pm 12,29$ kg t^{-1} de pescado produzido, respectivamente, diferindo ($p < 0,05$) de *MEP* e *AEP*. O total de sedimentos não diferiu estatisticamente ($p > 0,05$) entre os modelos, estando, porém, mais elevado em *AEP*, com $161,18 \pm 167,23$ kg t^{-1} de acúmulo médio nas pisciculturas.

Ao se avaliar os resultados ao longo do tempo de cultivo, também não foram verificadas diferenças ($p > 0,05$) nos valores dos indicadores que compõem o lançamento de efluentes. No entanto, o nitrogênio, fósforo e TSS apresentaram tendência de diminuição progressiva no modelo de *BEP* no período de produção e todas as estratégias tiveram índices de sedimento por unidade de produção maiores ao final do cultivo (Figura 02).

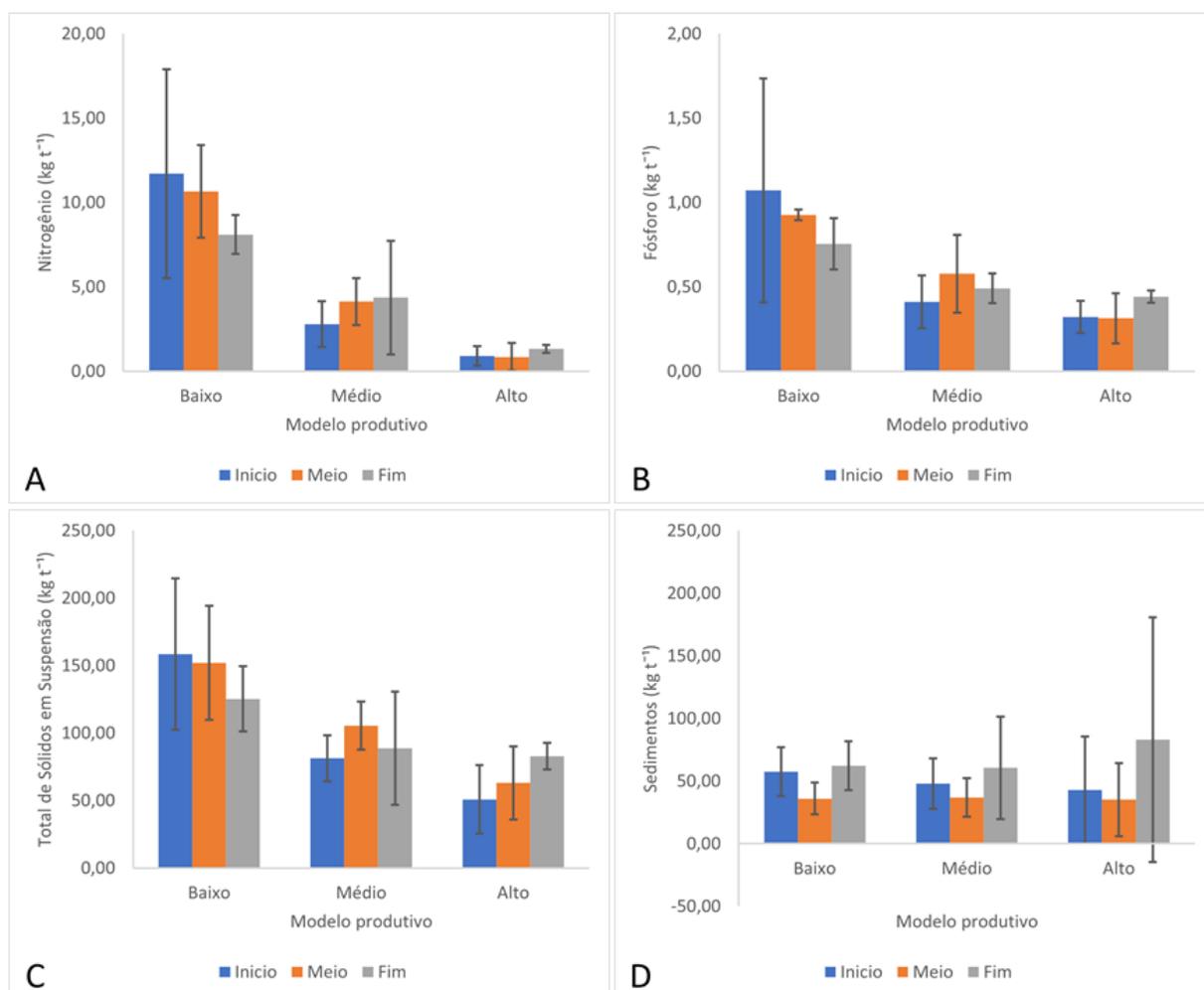


Figura 02. Resultados (média \pm DP) dos indicadores de nitrogênio (A), fósforo (B), sólidos em suspensão (C) e sedimentos (D) que compõem o lançamento de efluentes em três períodos do cultivo do tambaqui (*Colossoma macropomum*) na Amazônia Central.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Quanto ao grau de vulnerabilidade do índice de conservação da biodiversidade, este indicou maior eficiência em *MEP*, com $94,44 \pm 9,62\%$ e as menores de $88,89 \pm 9,62$ e $88,89 \pm 19,25\%$ em *BEP* e *AEP*, respectivamente. A adequação ambiental, representada pelo indicador *GAA*, foi de $38,89 \pm 9,62\%$ em *BEP* e $58,89 \pm 8,39\%$ em *MEP*, não demonstrando diferença ($p > 0,05$) entre as estratégias no atendimento de exigências.

3.2.2. Indicadores econômicas

Considerando a produção, custos e receitas levantados, foram identificados desempenhos de eficiência econômica sobre lucro, relação receita-investimento, relação benefício-custo e taxa interna de retorno diferentes ($p < 0,05$) entre os modelos pelas estratégias adotadas. O sistema de cultivo de *BEP* expos lucro negativo ($-\text{R\$ } 1,36 \pm 1,32 \text{ kg}^{-1}$) devido aos seus altos custos ($\text{R\$ } 14,36 \pm 1,32 \text{ kg}^{-1}$) nas manutenções dos ciclos produtivos (Tabela 07).

Tabela 07. Parâmetros de desempenho econômico do tambaqui (*Colossoma macropomum*) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.

Aspecto ¹	Indicador ²	Modelos Produtivos			p-valor ³
		Baixa Eficiência Produtiva	Média Eficiência Produtiva	Alta Eficiência Produtiva	
A. EFICIÊNCIA ECONÔMICA					
i	L (R\$ kg ⁻¹)	-1,36 ± 1,32^b	1,72 ± 1,61^{ab}	2,40 ± 0,68^a	0,0231
	RRI (R\$ ano ⁻¹)	0,39 ± 0,05^b	0,72 ± 0,19^b	1,17 ± 0,14^a	0,0015
	RBC (R\$)	0,91 ± 0,09^b	1,17 ± 0,17^{ab}	1,23 ± 0,08^a	< 0,001
	VPL (R\$)	-1.824.835,21 ± 13.918,10	-469.200,57 ± 1.485.141,94	736.725,50 ± 831.740,25	0,0508
	TIR (%)	-33,55 ± 0,00^b	-5,01 ± 26,25^{ab}	16,56 ± 5,30^a	0,0175
	PRC (anos)	46,99 ± 110,53	58,16 ± 87,62	4,83 ± 0,87	0,7131
B. TAXA DE RISCO					
ii	EA (anos)	11,20 ± 0,69	15,36 ± 4,84	11,22 ± 8,63	0,6164
iii	CG (%)	33,33 ± 33,33	22,22 ± 19,25	77,78 ± 19,25	0,0723
iv	SI (%)	100,00 ± 0,00	66,67 ± 33,33	100,00 ± 0,00	0,1250
v	IP (%)	21,21 ± 5,25^b	54,55 ± 15,75^a	60,61 ± 5,25^a	0,0062
vi	PR (%)	33,33 ± 26,02^{ab}	16,67 ± 7,22^b	62,50 ± 12,50^a	0,0444
vii	RM (%)	66,67 ± 0,00	55,56 ± 25,46	94,44 ± 9,62	0,0553

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

(¹): i = Desempenho econômico; ii = Experiência na atividade; iii = Preparo no gerenciamento do negócio; iv = Segurança legal e institucional; v = Uso de métodos de inovação na produção; vi = Segurança física da infraestrutura; vii = Relações de mercado.

(²): L = Lucro; RRI = Relação Receita-Investimento; RBC = Relação Benefício-Custo; VPL = Valor Presente Líquido; TIR = Taxa Interna de Retorno; PRC = Período de Recuperação do Capital; EA = Tempo de Experiência na Atividade; CG = Capacidade de Gerenciamento; SI = Segurança Institucional; IP = Inovação na Produção; PR = Prevenção de Riscos; RM = Relações de Mercado.

(³): Médias ± desvio-padrão com letras iguais na mesma linha para o mesmo indicador não diferem significativamente ($p > 0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

Somente as pisciculturas de *AEP* apresentaram RRI maior que R\$ 1,00 nas avaliações revelando que para cada real aplicado em investimento, é obtido em média R\$ 1,17 ano⁻¹. O indicador de VPL também apresentaram resultado negativo para *BEP* (-R\$ 1.824.835,21 ±13.918,10) e *MEP* (-R\$ 469.200,57 ±1.485.141,94), demonstrando, portanto, não haver recuperação do investimento em função do período de fluxo de caixa (dez anos) e taxa de desconto (11,25%) aplicada.

Empreendimentos de *AEP* tiveram valores de 16,56 ±5,30% para TIR, sendo melhores quando comparados à *BEP* (-33,55 ±0,00%) e *MEP* (-5,01 ±26,25%), que foram, em média, negativas e menores que a TMA aplicada. Os PRC's de 46,99 ±110,53 anos de *BEP* e 58,16 ±87,62 anos de *MEP* também corroboraram o mal desempenho, já que foram extremamente maiores que o horizonte de análise adotado.

Para os indicadores da taxa de risco, a experiência na atividade foi mais expressiva em *MEP* (15,36 ±4,84 anos) e a capacidade de gerenciamento revelou-se melhor (77,78 ±19,25%) em *AEP*. Os índices de inovação na produção e de prevenção de riscos mostram diferença significativa ($p < 0,05$) entre as estratégias, onde os melhores resultados de 60,61 ±5,25 e 62,50 ±12,50%, respectivamente, observados em *AEP*, indicam se tratar de pisciculturas que aplica maiores recursos em cuidados no manejo. Nota-se ainda, que a relação de mercado também atribuiu aos empreendimentos de *AEP* (94,44 ±9,62%) melhores estratégias de financiamento, negociação e comercialização.

3.2.3. Indicadores sociais

As pisciculturas de *BEP* indicaram, dentro das práticas trabalhistas, uma maior geração e manutenção de auto empregos (0,57 ±0,15 h. ha⁻¹) e investimento na criação de empregos diretos (R\$ 209.021,59 ±23.911,64 h. ha⁻¹), onde este último demonstrou diferença ($p < 0,05$) sobre o menor valor de *AEP* (R\$ 102.872,59 ±5.606,95 h. ha⁻¹) nos dispêndios com trabalhadores (Tabela 08).

Tabela 08. Parâmetros de desempenho social do tambaqui (*Colossoma macropomum*) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.

Aspecto ¹	Indicador ²	Modelos Produtivos			p-valor ³
		Baixa Eficiência Produtiva	Média Eficiência Produtiva	Alta Eficiência Produtiva	
A. PRÁTICAS TRABALHISTAS					
i	ED (h. ha ⁻¹)	0,14 ±0,04	0,17 ±0,15	0,14 ±0,05	0,9210
	AE (h. ha ⁻¹)	0,57 ±0,15	0,45 ±0,24	0,28 ±0,11	0,2176
	IED (R\$ h. ha ⁻¹)	209.021,59 ±23.911,64^a	173.713,99 ±29.942,90^a	102.872,59 ±5.606,95^b	0,0031
	IAE (R\$ h. ha ⁻¹)	52.255,40 ±5.977,91	56.180,01 ±18.598,72	51.436,29 ±2.803,48	0,8650
	ITE (R\$ h. ha ⁻¹)	41.804,32 ±4.782,33	41.543,61 ±9.495,64	34.290,86 ±1.868,98	0,3160
	PAE (%)	80,00 ±0,00^a	75,56 ±7,70^{ab}	66,67 ±0,00^b	0,0270
	PTL (%)	73,33 ±11,55	88,89 ±19,25	77,78 ±9,62	0,4319
	TTA (anos)	1,67 ±1,11	1,69 ±0,37	1,75 ±0,54	0,9899
	RMT (R\$ h. ciclo ⁻¹)	19.454,22 ±143,79	19.109,07 ±774,82	17.791,20 ±856,30	0,0505
	EST (%)	55,28 ±0,00^a	52,97 ±3,99^{ab}	48,36 ±0,00^b	0,0270
ii	RTA (R\$ ha ⁻¹)	3.365,32 ±930,66	3.636,53 ±2.900,28	2.847,72 ±1.135,04	0,8748
	RTP (R\$ kg ⁻¹)	0,47 ±0,13	0,28 ±0,22	0,15 ±0,06	0,1040
	CPT (%)	4,41 ±0,91	3,21 ±2,25	1,96 ±0,77	0,2057
	DSR (%)	65,12 ±173,62	162,64 ±262,92	8,81 ±3,31	0,6040
	PCA (%)	20,00 ±0,00^b	24,44 ±7,70^{ab}	33,33 ±0,00^a	0,0270
iii	PPS (%)	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	0,00 ±0,00	-
	PTE (%)	13,33 ±11,55	5,56 ±9,62	0,00 ±0,00	0,0805
	PTT (%)	6,67 ±11,55	11,11 ±19,25	5,56 ±9,62	0,8801
iv	NST (%)	19,44 ±4,81	33,33 ±8,33	41,67 ±28,87	0,3580
B. RESPONSABILIDADE SOCIAL					
v	IR (%)	74,90 ±11,55	71,50 ±2,83	73,79 ±9,62	0,8932
	IG (%)	64,64 ±11,55	57,97 ±0,00	57,97 ±0,00	0,4219
	IE (%)	73,78 ±11,23	68,77 ±10,11	60,71 ±2,41	0,2648
C. TERRITÓRIO E COMPARTILHAMENTO DE RECURSOS					
vi	CT (%)	66,67 ±33,33	100,00 ±0,00	66,67 ±33,33	0,2963
vii	CPL (%)	9,81 ±4,47	35,06 ±49,07	35,42 ±50,31	0,6923
	CLP (%)	100,00 ±0,00	100,00 ±0,00	100,00 ±0,00	1,0000
D. GOVERNANÇA CORPORATIVA E INSTITUCIONAL					
viii	GP (%)	66,67 ±23,09	26,67 ±11,55	66,67 ±11,55	0,0370
ix	GC (%)	72,22 ±9,62	50,00 ±28,87	77,78 ±9,62	0,1820

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

⁽¹⁾: *i* = Geração e manutenção de empregos; *ii* = Qualidade de renda e benefícios; *iii* = Capacitação e educação; *iv* = Saúde e segurança no trabalho; *v* = Igualdade de oportunidade; *vi* = Conflitos territoriais; *vii* = Desenvolvimento regional; *viii* = Promoção da participação; *ix* = Conscientização social e imagem.

⁽²⁾: ED = Criação de Empregos Diretos; AE = Criação de Auto-empregos; IED = Investimento na Criação de Empregos Diretos; IAE = Investimento na Criação de Auto-empregos; ITE = Investimento na Criação Total de Empregos; PAE = Proporção de Auto-empregos; PTL = Trabalhadores Locais Empregados; TTA = Tempo dos Trabalhadores na Atividade; RMT = Nível de Renda Média dos Trabalhadores; EST = Equidade Salarial dos Trabalhadores; RTA = Remuneração de Trabalho por Área; RTP = Remuneração de Trabalho por Produção; CPT = Custo Proporcional do Trabalho; DSR = Distribuição Social de Receita; PCA = Trabalhadores com Carteira Assinada; PPS = Trabalhadores com Programas de Saúde; PTE = Trabalhadores com Educação; PTT = Trabalhadores com Treinamentos; NST = Nível de Segurança no Trabalho; IR = Inclusão Racial; IG = Inclusão de Gênero; IE = Inclusão Etnária; CT = Grau de Conflitos Territoriais; CPL = Grau de Consumo de Produtos Locais; CLP = Grau de Consumo Local da Produção; GP = Grau de Participação; GC = Grau de Conscientização.

⁽³⁾: Médias ± desvio-padrão com letras iguais na mesma linha para o mesmo indicador não diferem significativamente ($p>0,05$) entre si pelo teste de Tukey.

Verifica-se melhor proporção de auto-empregos em *BEP* (80,00 ±0,00%), com diferença ($p<0,05$) em relação a *AEP* (66,67 ±0,00%). Para a proporção de trabalhadores locais empregados, a maior ocorrência foi em *MEP*, com 88,89 ±19,25% dos trabalhadores contratados advindos da própria comunidade.

O tempo dos trabalhadores na atividade indicou período de retenção de empregos de $1,75 \pm 0,54$ anos para pisciculturas *AEP*. Já a equidade salarial dos trabalhadores foi mais próxima ao ideal (100%) em *MEP*, com $55,28 \pm 0,00\%$, e apresentou diferença ($p < 0,05$) com *AEP*, que teve $48,36 \pm 0,00\%$ nestas fazendas.

Resultados de remuneração do trabalhador por unidade de produção foram superiores para *BEP*, com valor de R\$ $0,47 \pm 0,13 \text{ kg}^{-1}$ em média, seguidos por R\$ $0,28 \pm 0,22 \text{ kg}^{-1}$ em *MEP* e R\$ $0,15 \pm 0,06 \text{ kg}^{-1}$ em *AEP*. Também foi observado maior custo proporcional do trabalho nas pisciculturas de *BEP*, com uma participação média de $4,41 \pm 0,91\%$ dos gastos com funcionários sobre os custos de produção nos empreendimentos.

O percentual de trabalhadores com carteira assinada correspondeu a $33,33 \pm 0,00\%$ em *AEP*, com diferença ($p < 0,05$) em relação a $20,00 \pm 0,00\%$ de *BEP*. Nenhum dos modelos ofereceu programas de saúde aos seus funcionários, sendo fornecido em menor expressividade, somente educação para $13,33 \pm 11,55\%$ dos trabalhadores de *BEP* e treinamento para $11,11 \pm 19,25\%$ de *MEP* nos melhores resultados encontrados. Quanto ao nível de segurança no trabalho, houve maior preocupação com este item em *AEP*, com $41,67 \pm 28,87\%$.

Indicadores de responsabilidade social de inclusão racial ($74,90 \pm 11,55\%$), de gênero ($64,64 \pm 11,55\%$) e etária ($73,78 \pm 11,23\%$) foram melhores para *BEP*. O grau de conflitos territoriais, do atributo de uso de território e compartilhamento de recursos, se apresentou alto em *MEP*, com 100% de ocorrência. Já o consumo de produtos locais indicou que no máximo $35,42 \pm 50,31\%$ (*AEP*) dos insumos utilizados nas pisciculturas têm sua origem na região, sendo, no entanto, toda a produção (100%) de todas as fazendas, destinada ao consumo no mercado local da cidade de Manaus.

Por fim, na governança foi verificada um menor grau de participação em *MEP*, com $26,67 \pm 11,55\%$ de aplicação de esforços na contribuição do fortalecimento da cadeia produtiva do setor aquícola. Quanto ao grau de conscientização, este chegou a $77,78 \pm 9,62\%$ de aplicação do empenho das pisciculturas de *AEP* na melhoria da percepção positiva sobre a atividade.

3.3. ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE

3.3.1. Aspectos ambientais

O modelo produtivo de *AEP* apresentou melhores resultados nas categorias de quantidade de recursos consumidos e comportamento de efluentes, se igualando na eficiência no aproveitamento de recursos às demais estratégias. Para *MEP*, os melhores desempenhos foram o comportamento de sedimentos, a vulnerabilidade ecológica e os aspectos ambientais gerais, como verificado na figura 03.

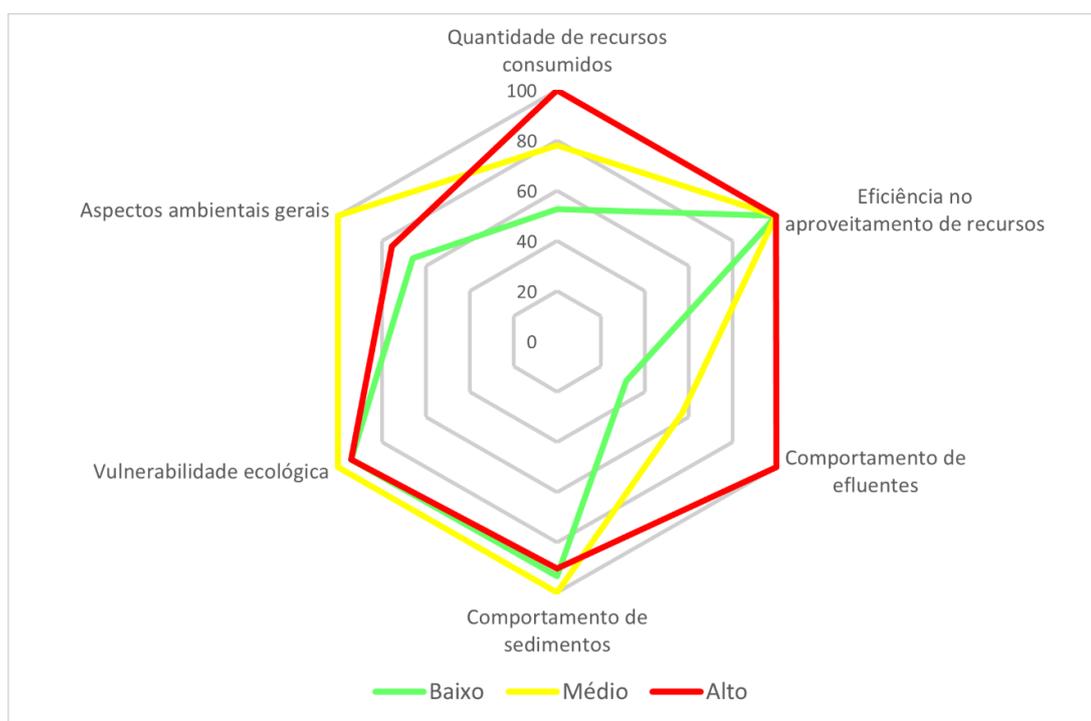


Figura 03. Desempenho dos aspectos da sustentabilidade ambiental para os diferentes níveis de eficiência produtiva do tambaqui (*Colossoma macropomum*) na Amazônia Central.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Sistemas produtivos de *BEP* demonstram piores resultados em quantidade de recursos consumidos, comportamentos de efluentes e aspectos ambientais gerais. No entanto, o modelo de *BEP* foi melhor que *AEP* no comportamento de sedimentos e se igualou a *MEP* no item vulnerabilidade ecológica.

Os índices de desempenho indicam que, com exceção do índice dos aspectos ambientais gerais como altamente sustentável, todos os demais de *AEP* são sustentáveis. Já os valores de *BEP* demonstraram comportamento de efluentes como pouco sustentável e quantidade de recursos consumidos como moderadamente sustentável (Tabela 09).

Tabela 09. Índices de desempenho ambiental do tambaqui (*Colossoma macropomum*) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.

Aspecto	Modelos Produtivos ¹		
	Baixa Eficiência Produtiva	Média Eficiência Produtiva	Alta Eficiência Produtiva
Quantidade de recursos consumidos	53 ^{MS}	78 ^{AS}	100 ^S
Eficiência no aproveitamento de recursos	100 ^S	100 ^S	100 ^S
Comportamento de efluentes	33 ^{IS}	57 ^{MS}	100 ^S
Comportamento de sedimentos	93 ^S	100 ^S	90 ^S
Vulnerabilidade ecológica	94 ^S	100 ^S	94 ^S
Aspectos ambientais gerais	66 ^{AS}	100 ^S	75 ^{AS}
Score Final	73^{AS}	89^S	93^S

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

⁽¹⁾: Faixas: I = Insustentável (0-20); IS = Insuficientemente sustentável (20-40); MS = Moderadamente sustentável (40-60); AS = Aceitavelmente sustentável (60-80); S = Sustentável (80-100) (Valenti, 2008).

O resultado final de desempenho ambiental exibiu maior sustentabilidade para pisciculturas de *MEP* e *AEP*, com escore médio de 89 e 93, respectivamente. A estratégia de *BEP*, apesar da baixa performance em alguns aspectos, foi definida como aceitavelmente sustentável, com índice de 73 na classificação geral.

3.3.2. Aspectos econômicos

A estratégia de *AEP* possui melhor desempenho para seis das sete categorias econômicas verificadas. O sistema produtivo de *MEP* é superior aos demais para experiência na atividade, possuindo ainda melhor resultado que *BEP* em desempenho econômico e uso de métodos inovação na produção, como verificado na figura 04.

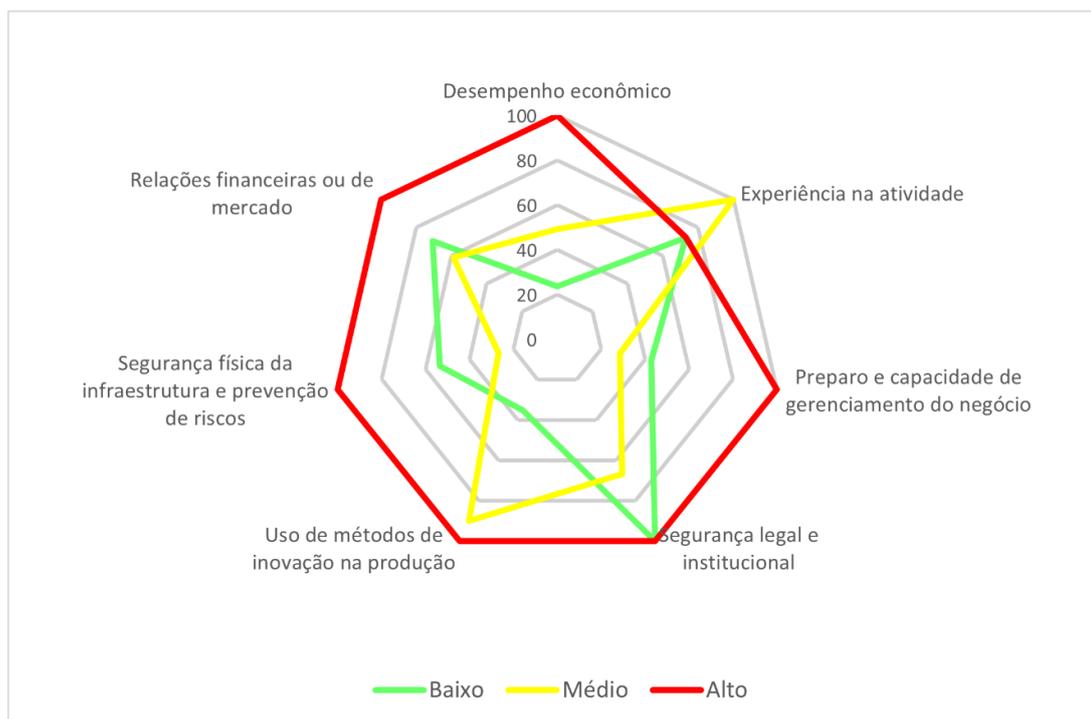


Figura 04. Desempenho dos aspectos da sustentabilidade econômica para os diferentes níveis de eficiência produtiva do tambaqui (*Colossoma macropomum*) na Amazônia Central.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Pisciculturas de *BEP* se igualaram a *AEP* nos valores máximos em segurança legal e institucional, com *MEP* tendo pior desempenho. Para os resultados de preparo no gerenciamento do negócio, segurança física da infraestrutura e relações de mercado, *BEP* é melhor que *MEP* nas avaliações, estando, no entanto, piores que *AEP*.

Os escores exibidos na tabela 10 indicaram que somente a experiência na atividade dos aspectos de *AEP* é aceitavelmente sustentável. Preparo e gerenciamento do negócio e segurança física da infraestrutura de *MEP* e desempenho econômico e uso de inovação na produção de *BEP* foram os aspectos mais deficientes, classificados como insuficientemente sustentável.

Tabela 10. Índices de desempenho econômico do tambaqui (*Colossoma macropomum*) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.

Aspecto	Modelos Produtivos ¹		
	Baixa Eficiência Produtiva	Média Eficiência Produtiva	Alta Eficiência Produtiva
Desempenho econômico	24 ^{IS}	48 ^{MS}	100 ^S
Experiência na atividade	73 ^{AS}	100 ^S	73 ^{AS}
Preparo no gerenciamento do negócio	43 ^{MS}	29 ^{IS}	100 ^S
Segurança legal e institucional	100 ^S	67 ^{AS}	100 ^S
Uso de métodos de inovação na produção	35 ^{IS}	90 ^S	100 ^S
Segurança física da infraestrutura	53 ^{MS}	27 ^{IS}	100 ^S
Relações de mercado	71 ^{AS}	59 ^{MS}	100 ^S
Score Final	57^{MS}	60^{AS}	96^S

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

(¹): Faixas: I = Insustentável (0-20); IS = Insuficientemente sustentável (20-40); MS = Moderadamente sustentável (40-60); AS = Aceitavelmente sustentável (60-80); S = Sustentável (80-100) (Valenti, 2008).

Na construção do escore final de avaliação econômica, foi atribuído pela média o valor de 96 para *AEP*, que foi considerado sustentável. A estratégia de *MEP*, com escore de 60, foi definida como aceitavelmente sustentável e pisciculturas de *BEP*, com desempenho geral de 57, foram classificadas como moderadamente sustentável.

3.3.3. Aspectos sociais

Melhores performances dos aspectos sociais de *AEP* são verificados para saúde e segurança no trabalho e conscientização social e imagem. Nos itens desenvolvimento regional e promoção da participação, *AEP* se igualou em valores máximos à *MEP* e *BEP*, respectivamente (Figura 05).

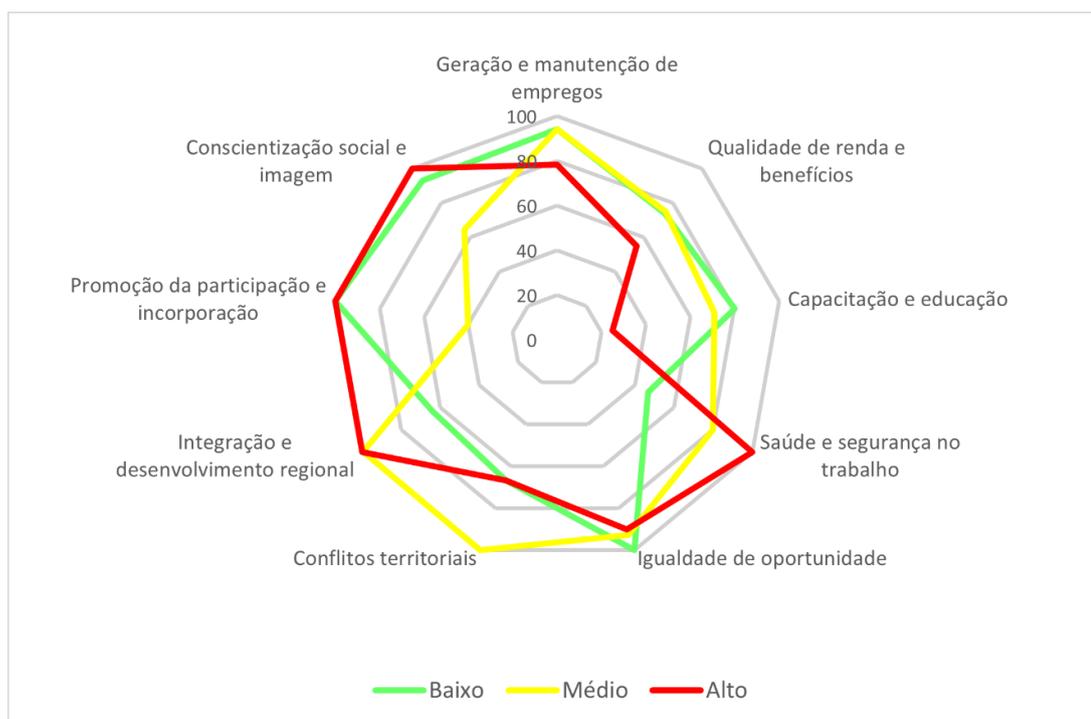


Figura 05. Desempenho dos aspectos da sustentabilidade social para os diferentes níveis de eficiência produtiva do tambaqui (*Colossoma macropomum*) na Amazônia Central.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Estratégia de *MEP* foi superior na qualidade de renda e benefícios e conflito territorial, se igualando a *BEP*, no melhor resultado de geração e manutenção de empregos. Pisciculturas de *BEP* também tiveram maiores pontuações na capacitação e educação e igualdade de oportunidade.

Apesar de cinco aspectos sustentáveis, índices sociais de *AEP* demonstraram baixo desempenho na capacitação e educação, com o valor de 25 sendo classificado como insuficientemente sustentável. As pisciculturas de *MEP* foram moderadamente sustentáveis na promoção da participação com valor de 40, e *BEP* também performou dentro da mesma faixa de classificação para saúde e segurança no trabalho, com 47 (Tabela 11).

Tabela 11. Índices de desempenho social do tambaqui (*Colossoma macropomum*) em diferentes níveis de eficiência produtiva em pisciculturas na Amazônia Central.

Aspecto	Modelos Produtivos ¹		
	Baixa Eficiência Produtiva	Média Eficiência Produtiva	Alta Eficiência Produtiva
Geração e manutenção de empregos	94 ^S	94 ^S	78 ^{AS}
Qualidade de renda e benefícios	74 ^{AS}	75 ^{AS}	55 ^{MS}
Capacitação e educação	80 ^S	71 ^{AS}	25 ^{IS}
Saúde e segurança no trabalho	47 ^{MS}	80 ^S	100 ^S
Igualdade de oportunidade	100 ^S	93 ^S	90 ^S
Conflitos territoriais	67 ^{AS}	100 ^S	67 ^{AS}
Desenvolvimento regional	60 ^{AS}	99 ^S	100 ^S
Promoção da participação	100 ^S	40 ^{MS}	100 ^S
Conscientização social e imagem	93 ^S	64 ^{MS}	100 ^S
Escore Final	80^S	80^S	79^S

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

(¹): Faixas: I = Insustentável (0-20); IS = Insuficientemente sustentável (20-40); MS = Moderadamente sustentável (40-60); AS = Aceitavelmente sustentável (60-80); S = Sustentável (80-100) (Valenti, 2008).

Resultados gerais de desempenho demonstram aceitavelmente sustentabilidade social na produção do tambaqui em todas as estratégias pela faixa de classificação. Índices de *BEP* e *MEP* gerados foram os que apresentaram maiores escores finais, com valores iguais de 80, seguidos de *AEP*, com valor de 79 pelas médias dos aspectos.

3.4. DIMENSÕES DE SUSTENTABILIDADE

A disposição dos dados no triângulo ternário revelou tendência de centralização nas distribuições dos modelos produtivos entre as dimensões de sustentabilidade, sem deslocamento acentuado a um dos pilares em detrimento dos outros dois. Porém, a acomodação dos modelos ocorreu em posições distintas, com distribuição mais igualitária (ao centro) realizado pela estratégia de *AEP* (Figura 06).

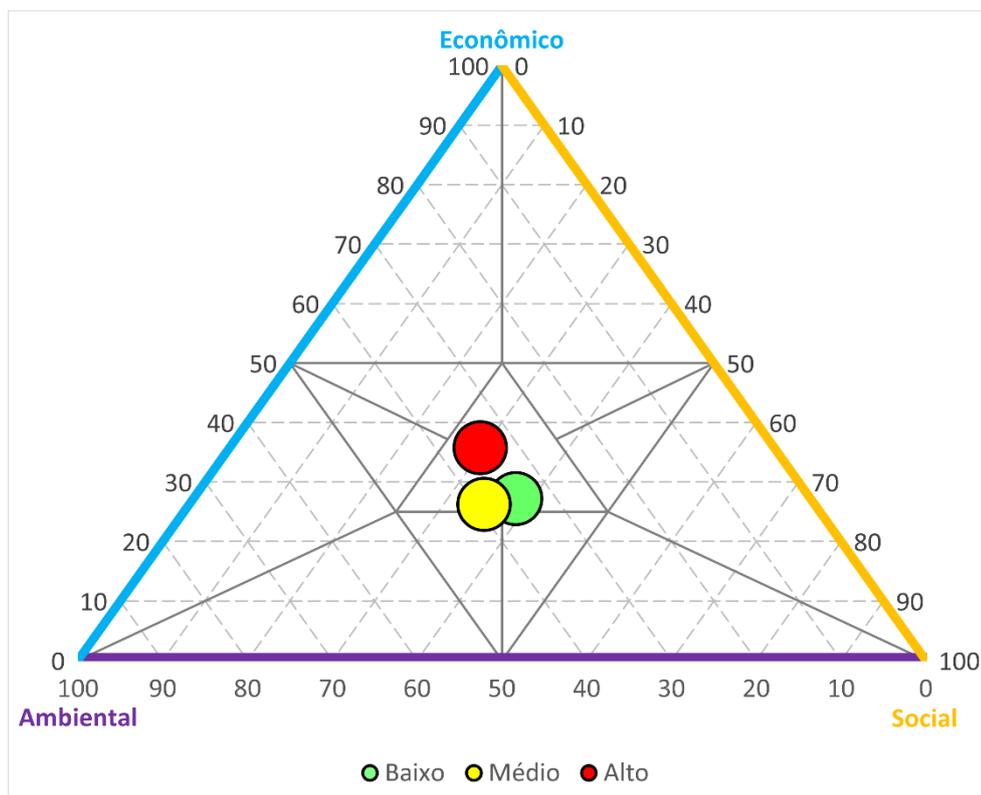


Figura 06. Triângulo de sustentabilidade com disposição espacial dos diferentes níveis de eficiência produtiva do tambaqui (*Colossoma macropomum*) na Amazônia.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

As estratégias de *BEP* e *MEP* apresentaram sustentabilidade com movimento de confluência à dimensão social, sendo que *MEP* teve maior tendência à dimensão ambiental que os demais. A estratégia de *AEP* realizou deslocamento em direção à dimensão econômica, porém com mesma disposição que *BEP* à dimensão ambiental.

Os resultados dos subíndices expostos na tabela 12 indicaram maior sustentabilidade ambiental e econômica ao modelo produtivo de *AEP*, com índices de 93 e 96, respectivamente. No entanto, pisciculturas de *BEP* *MEP* apresentaram resultados superiores para a dimensão social, que se igualaram no valor de 80 (Tabela 12).

Tabela 12. Desempenho dos níveis de eficiência produtiva do tambaqui (*Colossoma macropomum*) sob as dimensões de sustentabilidade em pisciculturas na Amazônia Central.

Modelos Produtivos	Dimensões de sustentabilidade			IGS ¹	Classificação ²
	Ambiental	Econômica	Social		
Baixa Eficiência Produtiva	73	57	80	70	Aceitavelmente sustentável
Média Eficiência Produtiva	89	60	80	76	Aceitavelmente sustentável
Alta Eficiência Produtiva	93	96	79	90	Sustentável

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

⁽¹⁾: IGS = Índice geral de sustentabilidade.

⁽²⁾: Faixas: 0-20 = Insustentável; 20-40 = Insuficientemente sustentável; 40-60 = Moderadamente sustentável; 60-80 = Aceitavelmente sustentável; 80-100 = Sustentável (Valenti, 2008).

Ao se avaliar o índice global de sustentabilidade, foi constatado que o modelo de *AEP* foi o que apresentou o melhor resultado final (90), sendo classificado como sustentável. A estratégia de *MEP*, teve IGS de 76 e as pisciculturas de *BEP*, com pior desempenho, geraram valor de 70, sendo ambas definidas como aceitavelmente sustentável, de acordo com a escala de classificação utilizada.

4. DISCUSSÃO

4.1. DESEMPENHO DOS INDICADORES

4.1.1. Desempenho ambiental

O cultivo do tambaqui em viveiros escavados se mostrou extremamente eficiente no uso de espaço, demonstrando melhor aproveitamento da terra com aumento da intensificação (BOYD *et al.*, 2007; BOSMA & VERDEGEM, 2011; CHARLES *et al.*, 2014; WAITE *et al.*, 2014; FONSECA *et al.*, 2017; VALENTI *et al.*, 2018; ENGLE & van SENTEN, 2022; HENRY-SILVA *et al.*, 2022; MUNGUTI *et al.*, 2022; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024; TRASSI *et al.*, 2024; XU *et al.*, 2024). Pisciculturas de *BEP* ($0,14 \pm 0,00 \text{ ha t}^{-1}$), com piores indicadores, apresentaram aproveitamento de área significativamente maior que o obtido por Fonseca *et al.* (2017), que registraram $1,6 \text{ ha t}^{-1}$ de lambari produzido em tanques escavados.

Quanto ao consumo de água por unidade de produção, o tambaqui foi melhor que outras espécies aquícolas cultivadas em terra firme (TIAGO & GIANESELLA, 2003; CREPALDI *et al.*, 2006; VERDEGEM *et al.*, 2006; BOYD *et al.*, 2007; BRUMMETT, 2013; SHARMA *et al.*, 2013; WAITE *et al.*, 2014; WILFART *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2015; FONSECA *et al.*, 2017; TUCKER *et al.*, 2017; HENRIKSSON *et al.*, 2018; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024; SYMEONIDOU & MENTE, 2024; NUNES *et al.*, 2025; PACHECO *et al.*, 2025). O resultado mais expressivo de *BEP* ($5.702,17 \pm 948,67 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$) expõem a baixa dependência deste recurso em viveiros escavados com renovação, onde a maior necessidade é para reposição de perdas por infiltração e evaporação (GREEN & BOYD, 1995; NATH & BOLTE, 1998; BOYD & GROSS, 2000; BOYD, 2005; CREPALDI *et al.*, 2006; BOSMA & VERDEGEM, 2011; SHARMA *et al.*, 2013; TUCKER *et al.*, 2017; HENRIKSSON *et al.*, 2018; MOHANTY *et al.*, 2018; ADHIKARI *et al.*, 2019; BOYD *et al.*, 2020).

Boyd *et al.* (2007) destacam que a água tem ganhado cada vez mais importância como um recurso escasso dotado de valor econômico, o que vem gerando o aumento na disputa sobre o direito de uso entre seus usuários (TIAGO & GIANESELLA, 2003; BOSMA & VERDEGEM, 2011; SHARMA *et al.*, 2013; PAHLOW *et al.*, 2015; AHMED *et al.*, 2019; BOYD *et al.*, 2020; PUEPPKE *et al.*, 2020; TROELL *et al.*, 2023; SYMEONIDOU & MENTE, 2024; PACHECO *et al.*, 2025). Os resultados mostram, portanto, que a otimização no uso desse insumo com a intensificação pode favorecer ambientalmente a atividade, contribuindo na sua economia para outros fins (BOYD, 2003; 2005; VERDEGEM *et al.*, 2006; BOYD *et al.*, 2007; MUNGGUNG & GHEEWALA, 2007; BOSMA & VERDEGEM, 2011; BOYD *et al.*, 2012; BOYD, 2013; BOYD *et al.*, 2013; SHARMA *et al.*, 2013; CHARLES *et al.*, 2014; TURCIO & PAPENBROCK, 2014; WAITE *et al.*, 2014; HENRIKSSON *et al.*, 2018; MOHANTY *et al.*, 2018; VALENTI *et al.*, 2018; BOYD *et al.*, 2020; CAMPANATI *et al.*, 2022; ENGLE & van SENTEN, 2022; TRASSI *et al.*, 2024).

A energia requerida no cultivo de tabaqui também demonstrou eficiência com o incremento na biomassa (KIM & ZHANG, 2018; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024). Apesar da menor necessidade, destaca-se que medidas para redução no consumo energético ainda podem ser implementadas nas fazendas, como diminuição da dependência de bombeamento de água, uso mais eficiente de equipamentos e incorporação de fontes de energia renováveis (SEGUNDO *et al.*, 2015; KIM & ZHANG, 2018; ULLAH & KIM, 2018; BOYD *et al.*, 2020; KASSEM *et al.*, 2021; LAKTUKA *et al.*, 2023; RAMANATHAN *et al.*, 2023; PINTO *et al.*, 2024; XU *et al.*, 2024).

Pisciculturas de *BEP* indicaram sustentabilidade superior no descarte de nitrogênio ($10,15 \pm 2,13 \text{ kg t}^{-1}$) e fósforo ($0,92 \pm 0,27 \text{ kg t}^{-1}$) que em outros sistemas de produção aquícola (MOURA *et al.*, 2016; FONSECA *et al.*, 2017; BOHNES & LAURENT, 2021; FIALHO *et al.*, 2021; HENRY-SILVA *et al.*, 2022; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024). Moura *et al.* (2016), por exemplo, constataram que infraestruturas de cultivo em tanques-rede geram eutrofização por nitrogênio e fósforo da ordem de $82,49 \text{ kg t}^{-1}$ e $56,95 \text{ kg t}^{-1}$ de pescado produzido, respectivamente. Estes altos índices podem ser explicados pela maior biomassa produzida em sistemas de gaiolas, os quais exigem maior quantidade de ração e têm maior desperdício de alimento que em estruturas de tanques escavados (ISLAM, 2005; GONDWE *et al.*, 2011; MALLASSEN *et al.*, 2012; AMÉRICO *et al.*, 2013; VERDEGEM, 2013; MOURA *et al.*, 2014; BALLESTER-MOLTO *et al.*, 2017; HENRIKSSON *et al.*, 2018; CHARY *et al.*, 2022; HENRY-SILVA *et al.*, 2022).

Tanto o nitrogênio, quanto o fósforo tem na ração a principal fonte de entrada no ambiente de cultivo (BERG *et al.*, 1996; PIEDRAHITA, 2003; BOYD & QUEIROZ, 2004; PAPATRYPHON *et al.*, 2004; ISLAM, 2005; QUEIROZ & FRIGHETTO, 2005; BOYD *et al.*, 2007; CYRINO *et al.*, 2010; BOSMA & VERDEGEM, 2011; GONDWE *et al.*, 2011; CONCEIÇÃO *et al.*, 2012; MALASSEN *et al.*, 2012; BOUWMAN *et al.*, 2013; VERDEGEM, 2013; TURCIO & PAPENBROCK, 2014; SANTOS *et al.*, 2015; BUENO *et al.*, 2017; DAVID *et al.*, 2017a; HENRIKSSON *et al.*, 2018; OSTI *et al.*, 2018; AHMED *et al.*, 2019; DAUDA *et al.*, 2019; FLICKINGER *et al.*, 2019; BOYD *et al.*, 2020; FLICKINGER *et al.*, 2020; HUANG *et al.*, 2020; BOHNES & LAURENT, 2021; FIALHO *et al.*, 2021; KUCUKSEZGIN *et al.*, 2021; CAMPANATIA *et al.*, 2022; MUSA *et al.*, 2022; GOTO *et al.*, 2023; XU *et al.*, 2024), que pode ultrapassar 70% do total aportado no sistema (CYRINO *et al.*, 2010; BOUWMAN *et al.*, 2013; DAVID *et al.*, 2017a; 2017b). Os resultados corroboram, pelos valores acumulados destes compostos, o maior “input” de alimento nos cultivos intensivos (ISLAM, 2005; SILVA *et al.*, 2007; GOMES & SILVA, 2009; GONDWE *et al.*, 2011; MALASSEN *et al.*, 2012; BOUWMAN *et al.*, 2013; DAUDA *et al.*, 2019; CAMPANATIA *et al.*, 2022; GOTO *et al.*, 2023; XU *et al.*, 2024). Porém, nota-se que a alta produtividade contribui para o menor impacto dessas substâncias eutróficas sobre os indicadores (HENRIKSSON *et al.*, 2018; XU *et al.*, 2024), reforçando a influência da intensificação no melhor contrabalanceamento dos poluentes gerados (HENRIKSSON *et al.*, 2018; VALENTI *et al.*, 2018; XU *et al.*, 2024).

O comportamento de sólidos em suspensão e sedimento mostra que existe incremento de material no sistema com o aumento da densidade (MOHANTY *et al.*, 2018; DAUDA *et al.*, 2019; BOYD *et al.*, 2020). Este resultado é esperado, considerando que estratégias mais intensivas produzem maior quantidade de partículas na coluna d’água, sendo as principais fontes a ração não consumida, as fezes e o plâncton morto que se acumula no substrato (JIMENEZ-MONTEALEGRE *et al.*, 2005; BOYD *et al.*, 2007; BOSMA & VERDEGEM, 2011; TURCIO & PAPENBROCK, 2014; MOHANTY *et al.*, 2018; DAUDA *et al.*, 2019; QI *et al.*, 2019; BOYD *et al.*, 2020; KUCUKSEZGIN *et al.*, 2021; CAMPANATIA *et al.*, 2022; CHARY *et al.*, 2022; BOYD & McNEVIN, 2023; BOYD *et al.*, 2025).

Índices de sedimentação indicam menor produção de resíduos no cultivo de tambaqui que do camarão-branco-do-pacífico (*Litopenaeus vannamei*), que pode chegar a 513,10 kg t⁻¹, de acordo com trabalho produzido por Bessa Junior *et al.* (2024). Os valores mais elevados do camarão no acúmulo de sedimentos são explicados pelo grande aporte de insumos necessários (produtos químicos, fertilizantes, ração) (SANTOS *et al.*, 2015; MOHANTY *et al.*, 2018; FLICKINGER *et al.*, 2020; ENGLE & van SENTEN, 2022; GOTO *et al.*, 2023), bem como

pela menor produtividade gerada (MIALHE *et al.*, 2013; CHOWDHURY *et al.*, 2015; MOHANTY *et al.*, 2018), que impactam consideravelmente a quantidade desse poluente por unidade de produção (BESSA JUNIOR *et al.*, 2024).

O sedimento é o principal sumidouro de nitrogênio e fósforo em tanques de aquicultura (BOYD *et al.*, 2007; MALASSEN *et al.*, 2012; NETO *et al.*, 2015; DAVID *et al.*, 2017; FLICKINGER *et al.*, 2019; 2020; KUCUKSEZGIN *et al.*, 2021; SOUZA *et al.*, 2021; MUSA *et al.*, 2022), sendo a maior influência na diminuição da produção destes nutrientes, o adequado controle de insumos no cultivo (FLICKINGER *et al.*, 2020). Portanto, a implementação de Boas Práticas de Manejo (BPM) e tratamento de resíduos como estratégias para mitigação de impactos pode favorecer este indicador e aumentar a sustentabilidade na aquicultura (BOYD *et al.*, 1998; BOYD & SCHMITTOU, 1999; BOYD & QUEIROZ, 2001; 2004; QUEIROZ & FRIGHETTO, 2005; QUEIROZ & SILVEIRA, 2006; CLAY, 2008; RESENDE, 2009; NUNES *et al.*, 2011; BOYD *et al.*, 2013; DIANA *et al.*, 2013; SAMPAIO *et al.*, 2013; TURCIO & PAPENBROCK, 2014; LEE, 2015; SANTOS *et al.*, 2015; QUEIROZ, 2016; BOYD, 2017; ZANIBONI-FILHO *et al.*, 2018; AHMED & THOMPSON, 2019; DAUDA *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2019; BOYD *et al.*, 2020; HENARES *et al.*, 2020; NOBILE *et al.*, 2020; ROVERSI *et al.*, 2020; FIALHO *et al.*, 2021; CARROLL *et al.*, 2022; ENGLE & van SENTEN, 2022; MUNGUTI *et al.*, 2022; BOYD & McNEVIN, 2023; LAKTUKA *et al.*, 2023; WANG *et al.*, 2023; YUSOFF *et al.*, 2024).

Sobre o grau de vulnerabilidade ecológica, todas as estratégias atenderam à maioria das exigências definidas, com *MEP* (94,44 ±9,62%) mostrando maior capacidade de redução dos fatores de risco na atividade. Pelo fato de o tambaqui ser uma espécie nativa e dispensar o uso de produtos químicos e hormônios na produção, foi possível atribuir alta sustentabilidade às pisciculturas (GONZÁLEZ *et al.*, 2003; ROSS *et al.*, 2008; MEZZALIRA & ASCHE, 2016; RODRIGUES *et al.*, 2019; NOBILE *et al.*, 2020; BELMUDES *et al.*, 2021; XU *et al.*, 2024; PACHECO *et al.*, 2025). No entanto, todas as fazendas realizaram cultivo em sistema aberto, sem presença de barreiras sanitárias ou práticas de biossegurança (GAMA, 2008; SAPKOTA *et al.*, 2008; BOSMA & VERDEGEM, 2011; GRIGORAKIS & RIGOS, 2011; BORGES *et al.*, 2013; VOLPE *et al.*, 2013; WAITE *et al.*, 2014; BRABO *et al.*, 2015; MACIEL *et al.*, 2016; DANTAS-FILHO, 2017; NUNES *et al.*, 2017; ZANIBONI-FILHO *et al.*, 2018; AHMED *et al.*, 2019; COSTA *et al.*, 2020; NOBILE *et al.*, 2020; ASCHE *et al.*, 2022; MUNGUTI *et al.*, 2022), o que conferiu riscos à biodiversidade e de acometimento de doenças aos animais (RESENDE, 2009; BOSMA & VERDEGEM, 2011; GRIGORAKIS & RIGOS, 2011; BOYD *et al.*, 2013; ARÊAS *et al.*, 2014; WAITE *et al.*, 2014; BRABO *et al.*, 2015; SILVA-GOMES

et al., 2017; LITTLE *et al.*, 2018; SOUSA *et al.*, 2018; VALENTI *et al.*, 2018; AHMED *et al.*, 2019; COSTA *et al.*, 2020; NOBILE *et al.*, 2020; STENTIFORD *et al.*, 2020; HENRIKSSON *et al.*, 2021; NAYLOR *et al.*, 2021; ENGLE & van SENTEN, 2022; FREITAS *et al.*, 2022; MUNGUTI *et al.*, 2022; GOTO *et al.*, 2023; NAYLOR *et al.*, 2023; TRASSI *et al.*, 2024; ROBLES-HERRERA, 2025).

Medidas efetivas para adequação ambiental das fazendas mostram que a atividade ainda depende do cumprimento de requisitos legais para melhorar sua sustentabilidade ambiental (TIAGO, 2002; TIAGO & GIANESELLA, 2003; AMARAL & FIALHO, 2006; ELER & MILLANI, 2007; GAMA, 2008; BELTON *et al.*, 2009; APPOLO & NISHIJIMA, 2011; BERNARDI *et al.*, 2011; BORGES *et al.*, 2013; BOYD *et al.*, 2013; VOLPE *et al.*, 2013; BARBIERI *et al.*, 2014; WAITE *et al.*, 2014; BORGES *et al.*, 2015; BRABO *et al.*, 2015; JONES *et al.*, 2015; ABATE *et al.*, 2016; CARDOSO *et al.*, 2016; MEZZALIRA & ASCHE, 2016; BRABO *et al.*, 2017a; CRUZ & BORDINHON, 2018; JOFFRE *et al.*, 2018; KING *et al.*, 2018; KUMAR *et al.*, 2018; MOK & GAZIULUSOY, 2018; ZANIBONI-FILHO *et al.*, 2018; AHMED *et al.*, 2019; COWX & OGUTU-OWHAYO, 2019; HENRIKSSON *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2019; VINCE & HAWARD, 2019; YOUNG *et al.*, 2019; NOBILE *et al.*, 2020; STENTIFORD *et al.*, 2020; BOTTEMA *et al.*, 2021; CAVALLI *et al.*, 2021; COUTURE *et al.*, 2021; FIALHO *et al.*, 2021; HENRIKSSON *et al.*, 2021; NAYLOR *et al.*, 2021; ENGLE & van SENTEN, 2022; FØRE *et al.*, 2022; MUNGUTI *et al.*, 2022; REGUEIRO *et al.*, 2022; NAYLOR *et al.*, 2023; TROELL *et al.*, 2023; GARLOCK *et al.*, 2024; GUILLEN *et al.*, 2025; PACHECO *et al.*, 2025; ROBLES-HERRERA, 2025). O pior resultado de *BEP* ($38,89 \pm 9,62\%$) expõe que ações para implementação de sistemas de tratamento de efluentes e atendimento de padrões de qualidade de água são negligenciados (BOYD, 2003; PIEDRAHITA, 2003; AMARAL & FIALHO, 2006; SILVA *et al.*, 2007; SAPKOTA *et al.*, 2008; MACEDO & SIPAÚBA-TAVARES, 2010; BOSMA & VERDEGEM, 2011; GRIGORAKIS & RIGOS, 2011; BORGES *et al.*, 2013; CASTRO *et al.*, 2014; FREITAS *et al.*, 2014; TURCIO & PAPENBROCK, 2014; WAITE *et al.*, 2014; BORGES *et al.*, 2015; CHOWDHURY *et al.*, 2015; MACIEL *et al.*, 2016; TRAMARIN & RUARO, 2017; COLDEBELLA *et al.*, 2018; HURTADO *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2019; BUENO *et al.*, 2020; LADISLAU *et al.*, 2020; SAMPANTAMIT *et al.*, 2020; BOHNES & LAURENT, 2021; CONDE *et al.*, 2021; LOPES-JUNIOR *et al.*, 2021; CAMPANATIA *et al.*, 2022; GOTO *et al.*, 2023; TRASSI *et al.*, 2024; PACHECO *et al.*, 2025), além de faltar esforço na adoção de outras medidas, como a utilização de fontes de energias renováveis, ainda pouco aplicadas na aquicultura (IOAKEIMIDIS *et al.*, 2013; KIM & ZHANG, 2018; XU *et al.*, 2024).

Fialho *et al.* (2021) observaram este comportamento, quando constataram alta irregularidade no cultivo de tilápia em tanques-rede, como o baixo grau de atendimento padrões de qualidade dos efluentes (BOYD, 2003; NYANTI *et al.*, 2012; CHOWDHURY *et al.*, 2015; NETO *et al.*, 2015; COLDEBELLA *et al.*, 2018; ZANIBONI-FILHO *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2019; STENTIFORD *et al.*, 2020; BOHNES & LAURENT, 2021; CAMPANATIA *et al.*, 2022; MUNGUTI *et al.*, 2022). A pouca efetividade no cumprimento desses requisitos ambientais pode ter origem na falta de fiscalização e monitoramento das fazendas (BOYD & SCHMITTOU, 1999; BRABO *et al.*, 2017a; TRAMARIN & RUARO, 2017; CRUZ & BORDINHON, 2018; LIMA *et al.*, 2019; YOUNG *et al.*, 2019; BUENO *et al.*, 2020; NOGUEIRA *et al.*, 2020; BOTTEMA *et al.*, 2021; MUSA *et al.*, 2022; NAYLOR *et al.*, 2023; TROELL *et al.*, 2023; TRASSI *et al.*, 2024; GUILLEN *et al.*, 2025; PACHECO *et al.*, 2025), explicando assim, os resultados desfavoráveis verificados neste estudo.

4.1.2. Desempenho econômico

Indicadores de lucro de *MEP* (R\$ 1,72 ±1,61) e *AEP* (R\$ 2,40 ±0,68) demonstraram sustentabilidade econômica das estratégias mais eficientes do tambaqui. Os resultados estão diretamente ligados à intensificação, que favorece – pela maior escala – o aumento da capacidade de arrecadação e diluição dos custos das fazendas (COSTA *et al.*, 2016; ENGLE *et al.*, 2017; DAVID *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2020; MEANTE *et al.*, 2021; ENGLE & van SENTEN, 2022).

Fatores como o desempenho zootécnico também contribuem para melhores margens de retorno (COSTA *et al.*, 2016; COSTA *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020). Menores valores de conversão alimentar de *AEP* (1,82 ±0,02), por exemplo, indicam redução dos dispêndios com alimentação, cujo percentual (> 60%) nos custos de produção tem grande impacto sobre a viabilidade dos empreendimentos (ARAÚJO & SÁ, 2008; ABIMORAD & CASTELLANI, 2011; MEANTE & DÓRIA, 2017; FEITOZA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2018; CASTRO *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2020; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; KASSEM *et al.*, 2021; MEANTE *et al.*, 2021; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024).

A RRI das fazendas de *BEP* (R\$ 0,39 ±0,05) e *MEP* (R\$ 0,72 ±0,19) são menos sustentáveis que *AEP* (R\$ 1,17 ±0,14), que demonstrou melhor fluxo de caixa através deste indicador. O valor financeiro de RBC da estratégia de *BEP* (R\$ 0,91 ±0,09) também aponta inviabilidade econômica, reforçando o baixo potencial de investimento desta modalidade de produtiva (FEITOZA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2020).

Diversos autores também constataram insustentabilidade na relação entre receitas, investimentos e custos na aquicultura em estudos com indicadores econômicos (BELMUDES *et al.*, 2021; HENRY-SILVA *et al.*, 2022; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024). Henry-Silva *et al.* (2022) obtiveram valores de RRI e RBC baixos (< R\$ 1,00) quando compararam diferentes densidades do cultivo de tilápia em tanques-rede, porém verificaram melhora dos resultados com a intensificação, como neste trabalho.

O VPL mostra inviabilidade para o cultivo do tambaqui, com índices negativos para *BEP* (-R\$ 1.824.835,21 ±13.918,10) e *MEP* (-R\$ 469.200,57 ±1.485.141,94), expondo a dificuldade das fazendas em recuperarem os investimentos no horizonte de análise (dez anos) definido (LIMA *et al.*, 2020). Indicadores econômicos de TIR e PRC abaixo da taxa de atratividade (11,25%) e acima de vinte anos, respectivamente, também evidenciam a insustentabilidade dessas estratégias (VILELA *et al.*, 2013; COSTA *et al.*, 2018; FEITOZA *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020).

A sustentabilidade econômica da aquicultura depende da produtividade e de melhores preços de comercialização (COSTA *et al.*, 2018; FEITOZA *et al.*, 2018; BJØRNDAL *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2020; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024). Portanto, considerando que os preços praticados por *BEP* e *MEP* não favorecem as receitas (FEITOZA *et al.*, 2018; BUENO *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; MEANTE *et al.*, 2021; BOTELHO *et al.*, 2022), medidas como a redução do tempo de cultivo, aumento da performance de crescimento dos animais, expansão da área alagada e da escala produtiva poderiam ser adotadas para viabilizar o agronegócio (MEANTE & DÓRIA, 2017; COSTA *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020; IZEL-SILVA *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2020; CHARY *et al.*, 2022; ENGLE & van SENTEN, 2022; CRAVEIRO *et al.*, 2024; PACHECO *et al.*, 2025).

Sobre a experiência na atividade, todos os piscicultores apresentam tempo de atuação acima de dez anos, se traduzindo no acúmulo de conhecimento prático para administrar o negócio (TRAMARIN & RUARO, 2017; KUMAR *et al.*, 2018). No entanto, mesmo a maior vivência implicando em favorecimento no processo de adequação e resultados financeiros das fazendas (MEANTE *et al.*, 2021), índices de desempenho econômico de *BEP* e *MEP* não refletiram esse benefício aos empreendimentos.

O melhor indicador de capacidade de gerenciamento em *AEP* ($77,78 \pm 19,25\%$) sugere maior controle dos piscicultores sobre os riscos intrínsecos à produção de pescado. Já o pior resultado de *MEP* ($22,22 \pm 19,25\%$) se justifica pela inexistência de planos de negócios e baixa qualificação técnica dos piscicultores (BUENO *et al.*, 2020; TRASSI *et al.*, 2024).

A instrução e preparo técnico têm alta relação com o sucesso econômico da piscicultura (ABIMORAD & CASTELLANI, 2011; BELCHIOR & DALCHIAVON, 2017; LIMA *et al.*, 2018; MORAES *et al.*, 2021), pois estimulam o correto manejo produtivo e prevenção de enfermidades, garantindo maior segurança na produção (APPOLO & NISHIJIMA, 2011; PANTOJA-LIMA *et al.*, 2015a; 2015b; KUMAR *et al.*, 2018; ARAÚJO *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2020; MORAES *et al.*, 2021; HENRY-SILVA *et al.*, 2022; TRASSI *et al.*, 2024). Melhores resultados de peso ($2.726,53 \pm 136,99$ kg) e mortalidade ($0,09 \pm 0,04\%$) de *AEP* demonstram, de fato, o bom conhecimento das técnicas produtivas, que para pisciculturas mais intensivas são fundamentais (BOYD *et al.*, 2020; LAKTUKA *et al.*, 2023).

Índices de segurança institucional elevados para todas as estratégias sofreram influência do alto grau de estabilidade das leis e regulações, bem como o atendimento de requisitos para o licenciamento dos empreendimentos (TIAGO, 2002; AMARAL & FIALHO, 2006; ELER & MILLANI, 2007; APPOLO & NISHIJIMA, 2011; SAMUEL-FITWI *et al.* 2012; BORGES *et al.*, 2013; PANTOJA-LIMA *et al.*, 2015a; 2015b; MEZZALIRA & ASCHE, 2016; BRABO *et al.*, 2017a; TRAMARIN & RUARO, 2017; CRUZ & BORDINHON, 2018; JOFFRE *et al.*, 2018; KING *et al.*, 2018; LITTE *et al.*, 2018; COWX & OGUTU-OWHAYO, 2019; LIMA *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2019; MASSA *et al.*, 2020; NOGUEIRA *et al.*, 2020; BUENO *et al.*, 2021; MORAES *et al.*, 2021; ENGLE & van SENTEN, 2022; PUSZKARSKI & ŚNIADACH, 2022; TROELL *et al.*, 2023; ARAÚJO *et al.*, 2024; ARSHAD *et al.*, 2024; KUMAR *et al.*, 2024; ROBLES-HERRERA, 2025). Porém, a baixa inovação na produção de *BEP* ($21,21 \pm 5,25\%$) expôs a fragilidade dos piscicultores em não adotar assistência técnica especializada e aplicar Boas Práticas de Manejo (BPM) (APPOLO & NISHIJIMA, 2011; CASTRO *et al.*, 2014; CHOWDHURY *et al.*, 2015; GUERREIRO *et al.*, 2015; BRABO *et al.*, 2017a; NUNES *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2018; KUMAR *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2018; RODRIGUES *et al.*, 2019; BUENO *et al.*, 2020; MORAES *et al.*, 2021; ENGLE & van SENTEN, 2022; LAKTUKA *et al.*, 2023; WANG *et al.*, 2023; ARSHAD *et al.*, 2024; TRASSI *et al.*, 2024), o que pode ser corroborado pelos piores índices de desempenho zootécnico, eficiência produtiva e retorno econômico destas fazendas (HENRIKSSON *et al.*, 2018; HENRY-SILVA *et al.*, 2022; TRASSI *et al.*, 2024).

Os mecanismos de prevenção de riscos da atividade foram extremamente baixos em *MEP* ($16,67 \pm 7,22\%$), refletindo o pouco preparo à antecipação de desastres e falta de cobertura de danos às infraestruturas (ZHENG *et al.*, 2018; NGUYEN, & JOLLY, 2019; PAPTISOV *et al.*, 2020; BJELLAND *et al.*, 2025). Fatores como o uso e manutenção de equipamentos de monitoramento ambiental e sistema de vigilância são negligenciados nas pisciculturas, apesar da importância no aumento do controle e segurança na produção (SAMPAIO *et al.*, 2013; ZANIBONI-FILHO *et al.*, 2018; KASSEM *et al.*, 2021; BJELLAND *et al.*, 2025).

Já as relações de mercado superiores em *AEP* ($94,44 \pm 9,62\%$) retratam o atendimento da maioria dos itens que compõe esse indicador pelas fazendas, como a existência de subsídios ou financiamentos (ARAÚJO *et al.*, 2015; CHOWDHURY *et al.*, 2015; BRABO *et al.*, 2017b; KUMAR *et al.*, 2018; GUILLEN *et al.*, 2019; IGARASHI, 2019; HENRIKSSON *et al.*, 2021; ARAÚJO *et al.*, 2024; PEÑALOSA-MARTINELL *et al.*, 2025) e participação do proprietário em associações ou cooperativas (SOUSA *et al.*, 2016; BRABO *et al.*, 2017b; NUNES *et al.*, 2017; ZACARDI *et al.*, 2017; RODRIGUES *et al.*, 2019; COSTA *et al.*, 2020). Para *BEP* ($66,67 \pm 0,00\%$) e *MEP* ($55,56 \pm 25,46\%$), menos expressivas, a maior parte das fazendas adotaram diversificação de mercados com acesso a múltiplos clientes (FONSECA *et al.*, 2017; MEANTE & DÓRIA, 2017; COSTA *et al.*, 2018), facilitado pela proximidade das infraestruturas com a cidade de Manaus (GANDRA, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2012; MEANTE & DÓRIA, 2017; COSTA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2019; 2020; HILSDORF *et al.*, 2021; MORAES *et al.*, 2021).

4.1.3. Desempenho Social

O cultivo do tabaqui apresenta baixa geração de empregos diretos e auto-empregos para todas as estratégias avaliadas. Isto reflete a realidade do setor, que demanda pouca mão-de-obra nas operações diárias das fazendas, seja pelo perfil familiar das unidades de produção (APPOLO & NISHIJIMA, 2011; BORGES *et al.*, 2013; CASTRO *et al.*, 2014; BRABO *et al.*, 2015; NAKAETH *et al.*, 2015; PANTOJA-LIMA *et al.*, 2015a; 2015b; MOURA *et al.*, 2016; BRABO *et al.*, 2017b; NUNES *et al.*, 2017; ZACARDI *et al.*, 2017; CRUZ & BORDINHON, 2018; FILIPSKI & BELTON, 2018; IGARASHI, 2019; LIMA *et al.*, 2019; BUENO *et al.*, 2020; COELHO *ET AL.*, 2020; CRUZ *et al.*, 2020; MORAES *et al.*, 2021; MALLICK & RUDRA, 2021; ENGLE & van SENTEN, 2022; NGAJILO *et al.*, 2022; TRASSI *et al.*, 2024; NUNES *et al.*, 2025), ou pelo uso de tecnologias na otimização ou substituição de tarefas realizadas para redução de custos (KUMAR *et al.*, 2018; SANKHLA *et al.*, 2020; BUENO *et al.*, 2021; ENGLE, 2021; MUSTAPHA *et al.*, 2021; COSTA *et al.*, 2022; MUNGUTI *et al.*,

2022; PRATIWY *et al.*, 2022; LAKTUKA *et al.*, 2023; RAMANATHAN *et al.*, 2023; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024; ROSSIGNOL *et al.*, 2024; LI *et al.*, 2025; NUNES *et al.*, 2025).

Indicadores de investimento na criação de empregos e auto-empregos mais representativos demonstram maior dispêndio na criação de postos de trabalho pelo tambaqui que outras espécies aquícolas (FILIPSKI & BELTON, 2018; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024). No entanto, a alta proporção de auto-empregos e trabalhadores locais empregados enfatiza a contribuição social das pisciculturas na geração de renda à comunidade local (BRUMMETT *et al.*, 2008; BORGES *et al.*, 2013; ARÊAS *et al.*, 2014; WAITE *et al.*, 2014; MOURA *et al.*, 2016; BLANCHARD *et al.*, 2017; NUNES *et al.*, 2017; FILIPSKI & BELTON, 2018; COWX & OGUTU-OWHAYO, 2019; BUENO *et al.*, 2020; BELMUDES *et al.*, 2021; MALLICK & RUDRA, 2021; ENGLE & van SENTEN, 2022; HENRY-SILVA *et al.*, 2022; MUNGUTI *et al.*, 2022; TROELL *et al.*, 2023; ROSSIGNOL *et al.*, 2024; ROBLES-HERRERA, 2025).

O tempo dos trabalhadores na atividade foi considerado baixo, expondo dificuldade dos empreendimentos no adequado recrutamento e fixação dos profissionais contratados (MIALHE *et al.*, 2013; MOURA *et al.*, 2016; BELMUDES *et al.*, 2021; BRUGERE *et al.*, 2023; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024). Este resultado pode ser explicado pela menor especialidade técnica e qualificação do funcionário, que favorece a sua fácil substituição ao não se adequar às condições de trabalho nas fazendas (MIALHE *et al.*, 2013; ENGLE, 2021; MALLICK & RUDRA, 2021; BRUGERE *et al.*, 2023). Além disso, a baixa renda obtida com a atividade (próxima a um salário mínimo mensal) demonstra não ser competitiva, incentivando os trabalhadores a procurarem melhores condições de remuneração e benefícios em outras áreas (PANTOJA-LIMA *et al.*, 2015b; KUMAR *et al.*, 2018; ENGLE, 2021; MALLICK & RUDRA, 2021; BRUGERE *et al.*, 2023; TROELL *et al.*, 2023; MIKKOLA, 2024).

Índices mais elevados para equidade salarial dos trabalhadores e remuneração do trabalho por área e produção de *BEP* indicam melhores salários para funcionários fixos e menor dependência de serviços temporários, que recompensam mal funções específicas menos qualificadas, como a atividade de alimentação e despesca (BRUGERE *et al.*, 2023; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024). Já o custo proporcional do trabalho demonstra menor alocação de recursos para pagamento de funcionários nas pisciculturas mais intensiva (HENRY-SILVA *et al.*, 2022), que requisitam poucos trabalhadores esporádicos, com salários mais baixos e menor frequência de atuação nas fazendas (ENGLE, 2021).

Resultados de distribuição social de receita mostram alta fixação de renda dos trabalhadores das pisciculturas de *MEP* (162,64 \pm 262,92%) pelos resultados insatisfatórios de lucratividade obtidos, que impactam a participação das remunerações no custo do trabalho (BELMUDES *et al.*, 2021; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024). Apesar disso, as pisciculturas proporcionam desenvolvimento econômico local, devido à grande parte da receita permanecer na comunidade de origem das contratações (TOUFIQUE & BELTON, 2014; MOURA *et al.*, 2016; FILIPSKI & BELTON, 2018; MALLICK & RUDRA, 2021; PEREIRA *et al.*, 2021; HENRY-SILVA *et al.*, 2022; ARSHAD *et al.*, 2024; GARLOCK *et al.*, 2024).

Mesmo possuindo maior proporção de trabalhadores permanentes, pisciculturas de *BEP* (20,00%) tem menor disposição que *AEP* (33,33%) em contratar com carteira assinada. Os resultados indicam pouca disposição dos piscicultores em garantir segurança laboral aos funcionários, condição esta que promove benefícios, proteção social e sensação de estabilidade a estes profissionais (MIALHE *et al.*, 2013; BRUGERE *et al.*, 2023).

Os indicadores sociais de acesso a programas de saúde pelos trabalhadores não são considerados prioritários nas pisciculturas, onde nenhuma fazenda oferece planos de assistência médica aos seus empregados (MOURA *et al.*, 2016; BUENO *et al.*, 2020; BELMUDES *et al.*, 2021; PEREIRA *et al.*, 2021; SHARMA *et al.*, 2023), mesmo este benefício sendo importante contra injúrias produzidas pela atividade (HOLEN *et al.*, 2017a; 2017b; OLIVEIRA *et al.*, 2017; TURNER *et al.*, 2018; CAVALLI *et al.*, 2019; FRY *et al.*, 2019; MITCHELL & LYSTAD, 2019; CAVALLI *et al.*, 2020; BAGASKARA, 2021; BRUGERE *et al.*, 2023; SHARMA *et al.*, 2023; MAKRI *et al.*, 2024; PACHECO *et al.*, 2025). A baixa adesão à educação e treinamento (< 15%) pelos trabalhadores também reforça a necessidade de aperfeiçoamento de habilidades e competências (CRUZ *et al.*, 2020; TROELL *et al.*, 2023; PACHECO *et al.*, 2025), já que as oportunidades de emprego estão fortemente correlacionadas com níveis educacionais mais elevados (LATRUFFE *et al.*, 2005; MIALHE *et al.*, 2013; KUMAR *et al.*, 2018; ENGLE & van SENTEN, 2022; MUNGUTI *et al.*, 2022; BRUGERE *et al.*, 2023; TROELL *et al.*, 2023).

A taxa de segurança no trabalho (< 45%) das estratégias avaliadas demonstrou pouca atenção aos perigos potenciais da atividade (BORGES *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2017; CAVALLI *et al.*, 2019; FRY *et al.*, 2019; CAVALLI *et al.*, 2020; BAGASKARA, 2021; BELMUDES *et al.*, 2021; NGAJILO *et al.*, 2022; BRUGERE *et al.*, 2023; CAVALLI *et al.*, 2023; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024; MAKRI *et al.*, 2024). Constata-se que uso de equipamentos de proteção individual (EPI's) e métodos para a prevenção de lesões e doenças ocupacionais nas fazendas são negligenciados, o que pode favorecer o surgimento de comorbidades

decorrentes da exigência física e natureza de risco das tarefas realizadas (OLIVEIRA *et al.*, 2017; CAVALLI *et al.*, 2019; FRY *et al.*, 2019; CAVALLI *et al.*, 2020; CRUZ *et al.*, 2020; NGAJILO *et al.*, 2022; BRUGERE *et al.*, 2023; SHARMA *et al.*, 2023; MAKRI *et al.*, 2024; BJELLAND *et al.*, 2025; NUNES *et al.*, 2025; PACHECO *et al.*, 2025).

Pisciculturas de *BEP* foram mais socialmente inclusivas quando se observa o aspecto racial ($74,90 \pm 11,55\%$) de gênero ($64,64 \pm 11,55\%$) e etário ($73,78 \pm 11,23\%$), com força de trabalho diversificada em relação à composição da população local (MALLICK & RUDRA, 2021; PEREIRA *et al.*, 2021; HENRY-SILVA *et al.*, 2022; MUNGUTI *et al.*, 2022; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024; TRASSI *et al.*, 2024; NUNES *et al.*, 2025). Os resultados demonstram que os trabalhadores estão mais bem representados quanto à etnia e faixas de idade, porém, constatou-se maior disposição em empregar homens na produção, o que é uma tendência do setor produtivo (WEERATUNGE *et al.*, 2010; NAKAOUTH *et al.*, 2015; MOURA *et al.*, 2016; ZACARDI *et al.*, 2017; MARQUES *et al.*, 2018; OLIVEIRA & FLORENTINO, 2018; COWX & OGUTU-OWHAYO, 2019; COELHO *et al.*, 2020; NASR-ALLAH *et al.*, 2020; BELMUDES *et al.*, 2021; CAVALLI *et al.*, 2021; ENGLE, 2021; MUNGUTI *et al.*, 2022; BRUGERE *et al.*, 2023; SHARMA *et al.*, 2023; FAO, 2024; ROSSIGNOL *et al.*, 2024; TRASSI *et al.*, 2024; NUNES *et al.*, 2025).

Indicadores de conflitos territoriais foram igualmente menores em *BEP* e *AEP*, com piores resultados ($66,67 \pm 33,33\%$) expondo a dificuldade de reconhecimento de direitos de propriedade e disputas pelo uso de recursos naturais (BARBIERI *et al.*, 2014; ORCHARD *et al.*, 2015; YOUNG *et al.*, 2019; BOYD *et al.*, 2020; SAMPANTAMIT *et al.*, 2020; ENGLE & van SENTEN, 2022; BRUGERE *et al.*, 2023; PACHECO *et al.*, 2025). Neste contexto, Engle & van Senten (2022) destacam que apesar da grande quantidade de benefícios sociais, a aquicultura gera conflitos com outros usuários pela gama de grupos de interesse no acesso aos recursos ambientais envolvidos, o que demanda esforços governamentais e limites regulatórios no seu controle e gestão (TIAGO, 2002; SOUZA *et al.*, 2006; KLINGER & NAYLOR, 2012; MARTINEZ-PORCHAS & MARTINEZ-CORDOVA, 2012; MURPHY, 2012; SAMUEL-FITWI *et al.*, 2012; BOYD *et al.*, 2013; DIANA *et al.*, 2013; VOLPE *et al.*, 2013; BARBIERI *et al.*, 2014; WAITE *et al.*, 2014; KRAUSE *et al.*, 2015; LEE, 2015; BÉNÉ *et al.*, 2016; BLANCHARD *et al.*, 2017; GENTRY *et al.*, 2017; GORDON *et al.*, 2017; TRAMARIN & RUARO, 2017; AMUNDSEN & OSMUNDSEN, 2018; JOFFRE *et al.*, 2018; KING *et al.*, 2018; AHMED *et al.*, 2019; BRUGÈRE *et al.*, 2019; COWX & OGUTU-OWHAYO, 2019; ENGLE, 2019; HENRIKSSON *et al.*, 2019; MILEWSKI & SMITH, 2019; YOUNG *et al.*, 2019; MASSA *et al.*, 2020; NOGUEIRA *et al.*, 2020; OSMUNDSEN *et al.*, 2020; CAVALLI

et al., 2021; BOHNES *et al.*, 2022; ENGLE & van SENTEN, 2022; PUSPITAWATI *et al.*, 2022; BRUGERE *et al.*, 2023; JOLLY *et al.*, 2023; PARTELOW *et al.*, 2023; SOTOMAYOR & MATA, 2023; ARSHAD *et al.*, 2024; PACHECO *et al.*, 2025).

O grau de consumo de produtos locais foi extremamente baixo nas estratégias ($\leq 35\%$), evidenciando a alta dependência e grande demanda de insumos produtivos – principalmente a ração, mais representativa – de fontes externas (HENRY-SILVA *et al.*, 2022). No entanto, o consumo local da produção indicou que todas as fazendas destinam integralmente suas produções (100%) à cidade de Manaus, pelo fato da capital do Amazonas possui déficit na oferta de pescado para suprir a alta demanda da sua população (GANDRA, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2012; PANTOJA-LIMA *et al.*, 2015b; MEANTE & DÓRIA, 2017; COSTA *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2020; HILSDORF *et al.*, 2021; MORAES *et al.*, 2021).

Houve reflexo da ocorrência do fortalecimento da cadeia produtiva e dos grupos representantes de classe sobre o grau de participação em *BEP* ($66,67 \pm 23,09\%$) e *AEP* ($66,67 \pm 11,55\%$) nas avaliações. Esse comportamento é explicado pela contribuição das organizações sociais coletivas (associações, cooperativas, sindicatos, etc.) na obtenção de benefícios aos piscicultores, como melhores negociações e barateamento de insumos produtivo, que favorecem o aumento na lucratividade das fazendas (BRUMMETT *et al.*, 2008; VALENTI & MORAES-VALENTI, 2010; BRABO *et al.*, 2015; SOUSA *et al.*, 2016; MEANTE & DÓRIA, 2017; ZACARDI *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2019; COSTA *et al.*, 2020; BELMUDES *et al.*, 2021; CAVALLI *et al.*, 2021; HENRIKSSON *et al.*, 2021; MORAES *et al.*, 2021; TRASSI *et al.*, 2024).

Quanto ao maior índice de conscientização para *AEP* ($77,78 \pm 9,62\%$), nota-se a alta relação éticas com o consumidor pelo fornecimento de garantias e transparência no rastreamento do pescado (GORDON *et al.*, 2017; AMUNDSEN & OSMUNDSEN, 2018; KING *et al.*, 2018; MOK & GAZIULUSOY, 2018; VINCE & HAWARD, 2019; BOYD *et al.*, 2020; BRUGERE *et al.*, 2023; LAKTUKA *et al.*, 2023; PARTELOW *et al.*, 2023), bem como contribuições à pesquisa científica e disseminação de conhecimentos ao setor através de parcerias institucionais (COSTA *et al.*, 2015; TRAMARIN & RUARO, 2017; LIMA *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2018; AHMED *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2019; MASSA *et al.*, 2020; CAVALLI *et al.*, 2021; MORAES *et al.*, 2021). No entanto, não foi registrado por nenhuma piscicultura o uso de mecanismos de valorização do produto, como certificações ou selos de responsabilidade e qualidade, instrumentos estes cada vez mais exigidos na produção aquícola mundial (BOYD *et al.*, 2005; BELTON *et al.*, 2009; BOSMA & VERDEGEM, 2011; CHANG, 2012; ROHEIM *et al.*, 2012; SAMUEL-FITWI *et al.*, 2012; BOYD, 2013; BOYD *et*

al., 2013; BRUMMETT, 2013; BUSH *et al.*, 2013; DIANA *et al.*, 2013; BERGLEITER & MEISCH, 2015; BOYD *et al.*, 2015; CARLUCCI *et al.*, 2017; GHOLIFAR *et al.*, 2017; AMUNDSEN & OSMUNDSEN, 2018; BRAY, 2018; KING *et al.*, 2018; MOK & GAZIULUSOY, 2018; WEITZMAN & BAILEY, 2018; ARIADI *et al.*, 2019; AZHAR *et al.*, 2019; ENGLE, 2019; MILEWSKI & SMITH, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2019; VINCE & HAWARD, 2019; YI, 2019; BOYD *et al.*, 2020; BRIDSON *et al.*, 2020; KAMINSKI *et al.*, 2020; OSMUNDSEN *et al.*, 2020; ASCHE *et al.*, 2021; BOTTEMA *et al.*, 2021; HENRIKSSON *et al.*, 2021; XUAN, 2021; REGUEIRO *et al.*, 2022; BORGES & JIACOMETI, 2023; BRUGERE *et al.*, 2023; PARTELOW *et al.*, 2023; RECTOR *et al.*, 2023; TROELL *et al.*, 2023; GARLOCK *et al.*, 2024; DOLORES-SALINAS & MIRET-PASTOR, 2024; HAMMARLUND *et al.*, 2025).

4.2. DESEMPENHO DOS ASPECTOS

Os aspectos de sustentabilidade detectaram pontos fortes e fracos dos sistemas de produção do tabaqui. Avaliações independentes do conjunto de subíndices e das dimensões separadamente, demonstraram falhas no cumprimento de requisitos de conformidade dos pilares da sustentabilidade, revelando limitações das estratégias e questões que devem ser aprimoradas (FIALHO *et al.*, 2021; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024; PACHECO *et al.*, 2025).

Ambientalmente, a quantidade de recursos consumidos e o comportamento dos efluentes foram os fatores que mais agregaram ao índice de sustentabilidade de *AEP*, porém foram também os que expuseram a fragilidade desta dimensão em *BEP* e *MEP*. A alta quantidade de poluentes liberados na água, que não possuem contrabalanceamento pela otimização das técnicas de cultivo e melhor aproveitamento do alimento, impediu a melhora deste índice (SANTOS *et al.*, 2015; HENRIKSSON *et al.*, 2018; AHMED *et al.*, 2019; FIALHO *et al.*, 2021; MALLICK & RUDRA, 2021; CAMPANATI *et al.*, 2022; XU *et al.*, 2024).

Valores obtidos para aspectos ambientais gerais também colaboraram fortemente para os piores resultados de sustentabilidade ambiental da estratégia de *BEP*. Este critério demonstrou a falta de tratamento de efluentes e atendimento a padrões de qualidade de água das fazendas, os quais evitam descarga de nutrientes e processos de eutrofização em corpos hídricos, que está entre os principais problemas da atividade (BOYD, 2003; BOYD & QUEIROZ, 2004; QUEIROZ & SILVEIRA, 2006; MACEDO & SIPAÚBA-TAVARES, 2010; GRIGORAKIS & RIGOS, 2011; WAITE *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2015; GENTRY *et al.*, 2017; DAUDA *et al.*, 2019; LIMA *et al.*, 2019; MILEWSKIA & SMITH, 2019; BOYD *et al.*, 2020; CAMPANATIA *et al.*, 2022; BOYD *et al.*, 2025; PACHECO *et al.*, 2025).

O modelo de *AEP* foi o mais sustentável em termos econômicos em função da grande quantidade de pescado produzido, que atribuiu alto desempenho dos indicadores de rentabilidade e viabilidade (COSTA *et al.*, 2016; BARONE *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020; MEANTE *et al.*, 2021; PRAXEDES *et al.*, 2021). Para *BEP* e *MEP*, o ponto crítico relacionado ao preparo e gerenciamento da atividade pode justificar o mal resultado para este pilar da sustentabilidade (KUMAR *et al.*, 2018; BUENO *et al.*, 2020), sendo que para *BEP*, a baixa aderência a métodos de inovação e uso de tecnologias verificados também contribuem para o pior índice geral deste modelo produtivo (KUMAR *et al.*, 2018; XU *et al.*, 2024; PACHECO *et al.*, 2025).

Quanto à sustentabilidade social, *BEP* e *MEP* se beneficiaram de melhores performance de geração e manutenção de empregos, capacitação e educação, além da igualdade de oportunidade no acesso a vagas de trabalho (MALLICK & RUDRA, 2021; BRUGERE *et al.*, 2023; TROELL *et al.*, 2023). Esse comportamento evidencia os efeitos multiplicadores da atividade na geração de melhorias à comunidade local, os quais contribuem para a diminuição da pobreza e desigualdade, além do aumento da equidade e segurança alimentar (IRZ *et al.*, 2007; ARAÚJO & SÁ, 2008; BRUMMETT *et al.*, 2008; TACON & METIAN, 2008; COSTA-PIERCE, 2010; KAWARAZUKA & BÉNÉ, 2010; KLINGER & NAYLOR, 2012; MURPHY, 2012; BEVERIDGE *et al.*, 2013; BORGES *et al.*, 2013; DIANA *et al.*, 2013; ARÊAS *et al.*, 2014; TOUFIQUE & BELTON, 2014; WAITE *et al.*, 2014; ASCHE *et al.*, 2015; CHOWDHURY *et al.*, 2015; TACON & METIAN, 2015; BÉNÉ *et al.*, 2016; JENNINGS *et al.*, 2016; GORDON *et al.*, 2017; FILIPSKI & BELTON, 2018; BRUGÈRE *et al.*, 2019; COWX & OGUTU-OWHAYO, 2019; MATHERA & FANNING, 2019; AHMED *et al.*, 2020; GEPHART *et al.*, 2020; NASR-ALLAH *et al.*, 2020; STENTIFORD *et al.*, 2020; MALLICK & RUDRA, 2021; JOLLY *et al.*, 2023; TROELL *et al.*, 2023; ARSHAD *et al.*, 2024; GARLOCK *et al.*, 2024; ROSSIGNOL *et al.*, 2024; RADOSAVLJEVIC *et al.*, 2025).

4.3. DESEMPENHO GERAL

A distribuição espacial do diagrama ternário ilustrou em uma escala multidimensional o alto equilíbrio das estratégias avaliadas entre as dimensões ambiental, econômica e social (VALENTI *et al.*, 2018; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024). Este resultado é recomendado, já que a sustentabilidade deve ser avaliada de forma multicriterial, demonstrando que não pode haver ganho de um pilar à custa dos demais (MOURA *et al.*, 2016; VALENTI *et al.*, 2018; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024; GARLOCK *et al.*, 2024; XU *et al.*, 2024).

Observa-se que o aumento da intensificação foi o parâmetro responsável pelo grau de balanceamento da sustentabilidade entre os modelos (BESSA JUNIOR *et al.*, 2024). Apesar do maior deslocamento da estratégia de *AEP* ao centro do triângulo, a maior produtividade favoreceu principalmente a dimensão econômica, o que é esperado com a maior capacidade de lucro destas fazendas (BELTON *et al.*, 2009; COSTA *et al.*, 2016; BARONE *et al.*, 2017; ENGLE *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2018; COSTA *et al.*, 2020; NASS *et al.*, 2020; MEANTE *et al.*, 2021; BESSA JUNIOR *et al.*, 2024).

Pelo pior desempenho ambiental de *BEP* e econômico de *MEP*, há ganho de força em direção ao pilar social do triângulo. Nota-se que o maior fornecimento de benefícios aos trabalhadores contratados está relacionado à menor dependência de tecnologia e investimento (KUMAR *et al.*, 2018; GARLOCK *et al.*, 2024), sendo este comportamento característico em condições de cultivo menos eficientes (KUMAR *et al.*, 2018; XU *et al.*, 2024; RADOSAVLJEVIC *et al.*, 2025).

A baixa pontuação da dimensão econômica das pisciculturas pouco intensivas expõe que esta é a mais importante fonte de alavancagem do índice global de sustentabilidade. De fato, estabelecer mecanismos para o aumento do valor econômico do tambaqui pode viabilizar a aplicação de técnicas produtivas mais otimizadas (GORDON *et al.*, 2017; KUMAR *et al.*, 2018; SANKHLA *et al.*, 2020; CAVALLI *et al.*, 2021; HENRIKSSON *et al.*, 2021; PRATIWY *et al.*, 2022; XU *et al.*, 2024), contribuindo para maximização do uso de recursos ambientais e redução da liberação de poluentes (HENRIKSSON *et al.*, 2018; KUMAR *et al.*, 2018; AHMED *et al.*, 2019; ARSHAD *et al.*, 2024; GARLOCK *et al.*, 2024; PACHECO *et al.*, 2025), bem como para geração de benefícios sociais humanos com a criação de emprego e renda aos atores envolvidos no setor (AHMED & LORICA, 2002; IRZ *et al.*, 2007; ARAÚJO & SÁ, 2008; BRUMMETT *et al.*, 2008; COSTA-PIERCE, 2010; KAWARAZUKA & BÉNÉ, 2010; KLINGER & NAYLOR, 2012; MURPHY, 2012; BEVERIDGE *et al.*, 2013; BORGES *et al.*, 2013; DIANA *et al.*, 2013; TOUFIQUE & BELTON, 2014; WAITE *et al.*, 2014; BÉNÉ *et al.*, 2016; GORDON *et al.*, 2017; MATHERA & FANNING, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2019; BUENO *et al.*, 2020; GEPHART *et al.*, 2020; NASR-ALLAH *et al.*, 2020; STENTIFORD *et al.*, 2020; MALLICK & RUDRA, 2021; JOLLY *et al.*, 2023; TROELL *et al.*, 2023; ARSHAD *et al.*, 2024; GARLOCK *et al.*, 2024; KUMAR *et al.*, 2024; ROSSIGNOL *et al.*, 2024; XU *et al.*, 2024; PACHECO *et al.*, 2025; RADOSAVLJEVIC *et al.*, 2025).

5. CONCLUSÃO

O uso de indicadores de sustentabilidade demonstrou que a piscicultura do tambaqui pode ser considerada sustentável. Em geral o conjunto de índices e subíndices de pontuação foi eficaz em identificar e quantificar fraquezas relacionadas ao processo produtivo, delimitando aspectos mais ou menos favoráveis das estratégias de intensificação da espécie, tornando-os passíveis de correções e aperfeiçoamentos para o melhor desenvolvimento da atividade.

Características distintas de manejo atribuídas ao aumento da produtividade influenciaram positivamente as pisciculturas quanto ao melhor uso de insumos, o que favoreceu a redução de custos e aumento do retorno e viabilidade econômica das fazendas em nível crescente. A escala de eficiência produtiva não foi preponderante para o melhor desempenho social, porém, não destituiu sistemas de cultivo mais intensivos da capacidade de gerar benéficos aos atores envolvidos.

Nota-se que as melhorias ambientais, econômicas e social devem estar relacionadas à redução dos desperdícios de alimento e aumento da biomassa, capacidade de gerenciamento do agronegócio e incentivo ao associativismo, além de focadas em melhores estratégias de negociação e na diversificação de mercado. Ações adicionais de governança para a agregação do negócio a outras atividades produtivas e aumento do valor do pescado através de certificações de qualidade e responsabilidade também devem ser buscados como formas de promoção do uso sustentável dos recursos ambientais.

AGRADECIMENTO

Os autores gostariam de agradecer à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo suporte financeiro à execução do projeto de pesquisa com recursos dos Editais FAPEAM Nº 011/2022 PROGRAMA CIÊNCIA NA GESTÃO PÚBLICA – PCGP/FAPEAM e Nº 008/2022 PROGRAMA KUNHÃ – C, T & I NO AMAZONAS; aos piscicultores, que permitiram o acesso e forneceram informações das fazendas; ao Programa de Pós-graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros (PPGCARP) e à Universidade Federal do Amazonas (UFAM) pela oportunidade de realização do Doutorado.

REFERÊNCIAS

- ABATE, T. G.; NIELSEN, R.; TVETERÅS, R. **Stringency of Environmental Regulation and Aquaculture Growth: A Cross-Country Analysis.** *Aquaculture Economics & Management*, 20(2): 201-21, 2016. DOI: 10.1080/13657305.2016.1156191
- ABIMORAD, E. G. & CASTELLANI, D. **Qualidade da ração e manejo alimentar na sustentabilidade econômica e ambiental em empreendimentos aquícolas.** *Pesquisa & Tecnologia*, v. 8, n. 1, 2011.
- ADHIKARI, S.; PANI, K. C.; JAYASANKAR, P. **Water gain and water loss of some freshwater aquaculture ponds at Kausalyaganga, Orissa, India.** *Applied Water Science*, 9: 121, 2019. DOI: 10.1007/s13201-019-1001-1
- AGUIAR, J. P. L. **Tabela de Composição de Alimento da Amazonia.** *Acta Amazonia*, 26(1/2): 121-126, 1996.
- AHMED, M. & LORICA, M. H. **Improving developing country food security through aquaculture development—lessons from Asia.** *Food Policy*, 27(2): 125-141, 2002. DOI: 10.1016/S0306-9192(02)00007-6
- AHMED, N. & THOMPSON, S. **The blue dimensions of aquaculture: A global synthesis.** *Science of The Total Environment*, 652: 851-861, 2019. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.163
- AHMED, N.; THOMPSON, S.; GLASER, M. **Global Aquaculture Productivity, Environmental Sustainability, and Climate Change Adaptability.** *Environmental Management*, 63: 159-172, 2019. DOI: 10.1007/s00267-018-1117-3
- AHMED, N.; THOMPSON, S.; TURCHINI, G. M. **Organic aquaculture productivity, environmental sustainability, and food security: insights from organic agriculture.** *Food Security*, 12: 1253-1267, 2020. DOI: 10.1007/s12571-020-01090-3
- AMARAL, R. B. do & FIALHO, A. P. **Aplicação das normas do Plano de Controle Ambiental (PCA) em pisciculturas da Região Metropolitana de Goiânia e suas implicações ambientais.** *Ciência Animal Brasileira*, v. 7, n. 1, p. 27-36, 2006.
- AMAZONAS. Lei Complementar nº 52, de 30 de maio de 2007. **Institui a Região Metropolitana de Manaus e dá outras providências.** In: *Diário Oficial do Estado do Amazonas*, Manaus, 31 de maio de 2007.
- AMÉRICO, J. H. P.; TORRES, N. H.; MACHADO, A. A.; CARVALHO, S. L. de. **Pisciculturas em tanques-rede: impactos e consequências na qualidade da água.** *Revista Científica ANAP Brasil*, v. 6, n. 7, p. 137-150, 2013. DOI: 10.17271/19843240672013427

AMUNDSEN, V. S. & OSMUNDSEN, T. C. **Sustainability indicators for salmon aquaculture.** *Data in Brief*, 20: 20-29, 2018. DOI: 10.1016/j.dib.2018.07.043

APPOLO, C. B. & NISHIJIMA, T. **Educação ambiental voltada à piscicultura praticada por pequenos produtores rurais.** *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET*, v. 2, n. 2, p. 214-224, 2011.

ARAÚJO, J. S. de & SÁ, M. de F. P. **Sustentabilidade da Piscicultura no Baixo Rio São Francisco Alagoano: Condicionantes Socioeconômicos.** *Ambiente & Sociedade*, v. 11, n. 2, p. 405-424, 2008. DOI: 10.1590/S1414-753X2008000200013

ARAÚJO, J. G. de; SANTOS, M. A. S. dos; REBELLO, F. K.; OLIVEIRA, C. M. de; COSTA, A. D. **Crédito rural para aquicultura: uma análise do Fundo Constitucional de Financiamento do Norte no estado do Pará.** *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria*, v. 19, n. 3, p. 553-562, 2015. DOI: 105902/2236117018996

ARAÚJO, S. P. de; MOTA, J. B. da; PIRES, D. C.; MIRANDA-FILHO, K. C. **Production of Tambaqui (*Colossoma macropomum*) in Brazil between 2017 to 2021.** *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7(2): 1-8, 2024. DOI: 10.34188/bjaerv7n2-064

ARAÚJO, R. L.; SANTANA, H. P.; NETO, M. P. N.; CHAMORRO, D. da S.; CARNEIRO, E. S.; PANTOJA-LIMA, J.; OLIVEIRA, A. T. de. **Qualidade microbiológica da água em sistemas de cultivo de tambaqui na Região Metropolitana de Manaus e sua relação com as práticas de manejo.** *IGAPÓ – Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFAM*, v. 14, n. 1, p. 112-128, 2020.

ARÊAS, S. de M.; TRINDADE, T. C.; LIMA, A. M. M. de; MOURA, Q. L. de; ALMEIDA, J. B. A. de. **Dinâmica socioambiental da piscicultura de água doce em tanques rede como alternativa de produção local em ambientes Amazônicos.** *Revista Agro@mbiente On-line*, v. 8, n. 2, p. 277-287, 2014. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v8i2.1818

ARIADI, P. S.; HARAHAH, N.; AFONDHI, A. **Strategy to Improve the Implementation of Eco-Labeling Global Aquaculture Alliance-Best Aquaculture Practices (GAA-BAP) in Shrimp Processing Industry PT. XYZ Sidoarjo.** *Journal of Economic and Social of Fisheries and Marine*, 07(1): 1-15, 2019. DOI: 10.21776/ub.ecsofim.2019.007.01.01

ASCHE, F.; BELLEMARE, M. F.; ROHEIM, C.; SMITH, M. D.; TVETERAS, S. **Fair enough? Food security and the international trade of seafood.** *World Development*, 67: 151-160, 2015. DOI: 10.1016/j.worlddev.2014.10.013

ASCHE, F.; BRONNMANN, J.; COJOCARU, A. L. **The value of responsibly farmed fish: a hedonic price study of ASC-certified whitefish.** *Ecological Economics*, 188: 107135, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2021.107135

ASCHE, M.; EGGERT, H.; OGLEND, A.; ROHEIM, C. A. SMITH, M. D. **Aquaculture: Externalities and Policy Options**. *Review of Environmental Economics and Policy*, 16(2): 282-305, 2022. DOI: 10.1086/721055

ARSHAD, S.; ARSHAD, S.; AFZAL, S.; TASLEEM, F. **Environmental Impact and Sustainable Practices in Aquaculture: A Comprehensive Review**. *Haya Saudi Journal of Life Sciences*, 9(11): 447-454, 2024. DOI: 10.36348/sjls.2024.v09i11.005

AZHAR, B.; PRIDEAUX, M.; RAZI, N. **Sustainability Certification of Food**. In: FERRANTI, P.; BERRY, E. M.; ANDERSON, J. R. (Eds.) *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*. Elsevier, pp. 538-544, 2019. DOI: 10.1016/B978-0-08-100596-5.22434-7

BAGASKARA, G. **Juridical Analysis of Employment Relationship (Employees-Employers) in the Aquaculture Sector**. *Journal of Law and Legal Reform*, 2(2): 135-156, 2021. DOI: 10.15294/jllr.v2i2.46622

BALLESTER-MOLTÓ, M.; SANCHEZ-JEREZ, P.; CERESO-VALVERDE, J.; AGUADO-GIMÉNEZ, F. **Particulate waste outflow from fish-farming cages. How much is uneaten feed?** *Marine Pollution Bulletin*, 119(1): 23-30, 2017. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.03.004

BARBIERI, E.; MARQUEZ, H. L. de. A.; CAMPOLIM, M. B.; SALVARANI, P. I. **Avaliação dos Impactos ambientais e socioeconômicos da aquicultura na região estuarina-lagunar de Cananéia, São Paulo, Brasil**. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 14(3): 385-398, 2014. DOI: 10.5894/rgci486

BARÇANTE, B. & SOUZA, A. B. de. **Características zootécnicas e potenciais do tambaqui (*Colossoma macropomum*) para a piscicultura brasileira**. *Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia (PubVet)*, 9(7): 287-290, 2015. DOI: 10.22256/pubvet.v9n7.287-290

BARONE, R. S. C.; MORAES, J. M. M. de; ROSA, J. M. **Relatório Campo Futuro – Aquicultura: Custo de Produção do tambaqui (*Colossoma macropomum*) com e sem uso de aeração**. CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. *Relatório Técnico*. Manaus, AM: CNA, 2017, 6p.

BARROS, A. F. de; LIMBERGER, D. L. R.; SILVA, A. C. C.; SANTOS, P. R. J. **Custo de implantação, planejamento zootécnico e econômico de pisciculturas de pequeno porte**. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n.5, p.27545-27564, 2020. DOI:10.34117/bjdv6n5-269

BARROS, A. F. de & MARTINS, M. I. E. G. **Performance and economic indicators of a large scale fish farming in Mato Grosso, Brazil**. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(6): 1325-1331, 2012. DOI: 10.1590/S1516-35982012000600001

GREEN, B. W. & BOYD, C. E. **Water budgets for fish ponds in the dry tropics**. *Aquacultural Engineering*, 14(4): 347-356, 1995. DOI: 10.1016/0144-8609(95)00002-V

BELCHIOR, E. B. & DALCHIAVON, F. C. **Economic viability of tambaqui production in the municipality of Ariquemes – RO.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 43(3): 373-384, 2017. DOI: 10.20950/1678-2305.2017v43n3p373

BELLEN, H. M. V. van. *Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa*. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora FGV. 2008, 256p.

BELMUDES, D.; DAVID, F. S.; GONÇALVES, F. H.; VALENTI, W. C. **Sustainability Analysis of the Production of Early Stages of the Atlantic Forest Lambari (*Deuterodon iguape*) in a Public Hatchery at a Rainforest Conservation Area.** *Sustainability*, 13(11): 5934, 2021. DOI: 10.3390/su13115934

BELTON, B.; LITTLE, D.; GRADY, K. **Is Responsible Aquaculture Sustainable Aquaculture? WWF and the Eco-Certification of Tilapia.** *Society & Natural Resources*, 22(9): 840-855, 2009. DOI: 10.1080/08941920802506257

BERG, H.; MICHÉLSEN, P.; TROELL, M.; FOLKER, C.; KAUTSKY, N. **Managing aquaculture for sustainability in tropical Lake Kariba, Zimbabwe.** *Ecological Economics*, 18(2): 141-159, 1996. DOI: 10.1016/0921-8009(96)00018-3

BÉNÉ, C.; ARTHUR, R.; NORBURY, H.; ALISSON, E. H.; BEVERIDGE, M.; BUSH, S.; CAMPLING, L.; LESCHEN, W.; LITTLE, D.; SQUIRES, D.; THILSTED, S. H.; TROELL, M.; WILLIAMS, M. **Contribution of Fisheries and Aquaculture to Food Security and Poverty Reduction: Assessing the Current Evidence.** *World Development*, 79: 177-196, 2016. DOI: 10.1016/j.worlddev.2015.11.007

BERGLEITER, S. & MEISCH, S. **Certification Standards for Aquaculture Products: Bringing Together the Values of Producers and Consumers in Globalised Organic Food Markets.** *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 28: 553-569, 2015. DOI: 10.1007/s10806-015-9531-5

BERNARDI, F. H.; LOPES, C.; AMARAL, L.; FÜLBER, V. **Propostas de adequação ambiental de propriedade rural.** *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, v. 8, n. 3, p. 183-195, 2011.

BESSA JUNIOR, A. P.; VALENTI, W. C.; FLICKINGER, D. L.; HENRY-SILVA, G. G. **Sustainability of pacific white shrimp culture strategies during a regional outbreak of white spot syndrome virus.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 50: e873, 2024. DOI: 10.20950/1678-2305/bip.2024.50.e873

BEVERIDGE, M. C.; THILSTED, S. H.; PHILLIPS, M. J.; METIAN, M.; TROELL, M.; HALL, S. J. **Meeting the food and nutrition needs of the poor: The role of fish and the opportunities and challenges emerging from the rise of aquaculture.** *Journal of Fisheries Biology*, 83(4), 1067-1084, 2013. DOI: 10.1111/jfb.12187

BJELLAND, H. V.; FOLKEDAL, O.; FØRE, H. M.; GRØTLI, E. I.; HOLMEN, I. M.; LONA, E.; SLETTE, H. T.; STØRKERSEN, K. V.; THORVALDSEN, T. **Exposed Aquaculture Operations: Strategies for Safety and Fish Welfare.** *Reviews in Aquaculture*, 17(1): e12964, 2025. DOI: 10.1111/raq.12964

BJØRNDAL, T.; DEY, M.; TUSVIK, A. **Economic analysis of the contributions of aquaculture to future food security.** *Aquaculture*, 578(4): 740071, 2024. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2023.740071

BLANCHARD, J. L.; WATSON, R. A.; FULTON, E. A.; COTTRELL, R. S.; NASH, K. L.; BRYNDUM-BUCHHOLZ, A.; BÜCHNER, M.; CAROZZA, D. A.; CHEUNG, W. W. L.; ELLIOTT, J.; DAVIDSON, L. N. K.; DULVYN, N. K.; DUNNE, J. P.; EDDY, T. D.; GALBRAITH, E.; LOTZE, H. K.; MAURY, O.; MÜLLER, C. **Linked sustainability challenges and trade-offs among fisheries, aquaculture and agriculture.** *Nature Ecology & Evolution*, 1(9): 1240-1249, 2017. DOI: 10.1038/s41559-017-0258-8

BOHNES, F. A.; HAUSCHILD, M. Z.; SCHLUNDT, J.; NIELSEN, M. **Environmental sustainability of future aquaculture production: Analysis of Singaporean and Norwegian policies.** *Aquaculture*, 549(736001): 737717, 2022. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.737717

BOHNES, F. A. & LAURENT, A. **Environmental impacts of existing and future aquaculture production: Comparison of technologies and feed options in Singapore.** *Aquaculture*, 532: 736001, 2021. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.736001

BORGES, A. F.; BORGES, M. dos A. C. S.; REZENDE, J. L. P. de; DURIGON, M. do S. G. F.; CORTE, A. R.; VIEIRA, F. A. B.; CORIM, R. B.; ALVES, E. da C. **Desempenho ambiental da piscicultura na Amazônia Ocidental brasileira.** *Global Science and Technology*, 6(1): 141-152, 2013.

BORGES, F. de F. & JIACOMETI, V. **Certificação de sustentabilidade da aquicultura: uma análise de mercado com consumidores.** *Ciência & Tecnologia*, v. 15, n. 1, p. e15162023. DOI: 10.52138/citec.v15i1.268

BORGES, A. F.; SANTOS, A. A.; REZENDE, J. L. P.; BORGES, M. dos A. C. S.; CIRÍACO, A. da P.; SANTIAGO, T. M. O. **Environmental performance of aquaculture in Rondônia state, Brazil.** *Revista Ceres*, 62(2): 208-214, 2015. DOI: 10.1590/0034-737X201562020011

BOSMA, R. H. & VERDEGEM, M. C. J. **Sustainable aquaculture in ponds: Principles, practices and limits.** *Livestock Science*, 139: 58-68, 2011. DOI: 10.1016/j.livsci.2011.03.017

BOTTEMA, M.; BUSH, S. R.; OOSTERVEER, P. **Assuring aquaculture sustainability beyond the farm.** *Marine Policy*, 132: 104658, 2021. DOI: 10.1016/j.marpol.2021.104658

BOUWMAN, A. F.; BEUSEN, A. H. W.; OVERBEEK, C. C.; BUREAU, D. P.; PAWLOWSKI, M.; GLIBER, P. M. **Hindcasts and Future Projections of Global Inland and Coastal Nitrogen and Phosphorus Loads Due to Finfish Aquaculture.** *Reviews in Fisheries Science*, 21(2): 112-156, 2013. DOI: 10.1080/10641262.2013.790340

BOYD, C. E. **Aquaculture, Freshwater.** In: ELIAS, S. A.; ALDERTON, D.; COCHRAN, J. K.; DELLASALA, D.; FACCENNA, C.; GOLDESTEIN, M. I.; LAJTHA, K.; MARSHALL, S.; MATHER, T.; NEHRENHEIM, E.; SHOOF, J.; SINCLAIR, H. D.; SMITH, P. N. (Eds.) *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier, 2013, 9p. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.03764-7

_____. **General relationship between water quality and aquaculture performance in ponds.** In: JENEY, G. (Ed.) *Fish diseases. Prevention and Control Strategies*. Academic Press, pp. 147-166, 2017. DOI: 10.1016/B978-0-12-804564-0.00006-5

_____. **Guidelines for aquaculture effluent management at farm-level.** *Aquaculture*, 226(1-4): 101-112, 2003. DOI: 10.1016/S0044-8486(03)00471-X

_____. **Water use in aquaculture.** *World Aquaculture*, 36(3): 12-15, 70, 2005.

BOYD, C. E.; D'ABRAMO, L. R.; GLENCROSS, B. D.; HUYBEN, D. C.; JUAREZ, L. M.; LOCKWOOD, G. S.; McNEVIN, A. A.; TACON, A. G. J.; TELETCHEA, F.; TOMASSO, J. R.; TUCKER, C. S.; VALENTI, W. C. **Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges.** *Journal of the World Aquaculture Society*, 51: 578-633, 2020. DOI: 10.1111/jwas.12714

BOYD, C. E.; DAVIS, R. P.; McNEVIN, A. A.; KUMAR. **Chapter 13 - Water quality and its impacts on feeding practices.** In: KUMAR, A. A. (Ed.) *Feed and Feeding for Fish and Shellfish*. Nutritional Management. London: Academic Press, pp. 383-401, 2025. DOI: 10.1016/B978-0-443-21556-8.00006-5

BOYD, C. E. & GROSS, A. **Water use and conservation for inland aquaculture ponds.** *Fisheries Management and Ecology*, 7(1-2): 55-63, 2000. DOI: 10.1046/j.1365-2400.2000.00181.x

BOYD, C. E.; GROSS, A.; ROWAN, M. **Laboratory study of sedimentation for improving quality of pond effluents.** *Journal of Applied Aquaculture*, 8(2): 39-48, 1998. DOI: 10.1300/J028v08n02_04

BOYD, C. E.; LI, L.; BRUMMETT, R. **Relationship of Freshwater Aquaculture Production to Renewable Freshwater Resources.** *Journal of Applied Aquaculture*, 24(2): 99-106, 2012. DOI: 10.1080/10454438.2011.627778

BOYD, C. E.; LIM, C.; QUEIROZ, J.; SALIE, K.; WET, L.; McNEVIN, A. *Best Management Practices for Responsible Aquaculture*. Washington: USAID, 2008, 47p.

BOYD, C. E. & McNEVIN, A. A. **Resource Use and Pollution Potential in Feed-Based Aquaculture.** *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 32(2): 306-333, 2023. DOI: 10.1080/23308249.2023.2258226

BOYD, C. E.; McNEVIN, A.; CLAY, J.; JOHNSON, H. M. **Certification issues for some common aquaculture species.** *Reviews in Fisheries Science*, 13(4): 231-279, 2005. DOI: 10.1080/10641260500326867

BOYD, C. E. & QUEIROZ, J. F. **Feasibility of retention structures, settling basins, and best management practices in effluent regulation for alabama channel catfish farming.** *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 9(2): 43-67, 2001. DOI: 10.1080/20016491101708

_____. **Manejo das condições do sedimento do fundo e da qualidade da água e dos efluentes de viveiros.** In: CYRINO, J. E. P.; URBINATI, E. C.; FRACALOSSO, D. M.; CASTAGNOLLI, N. (Org.) *Tópicos especiais em piscicultura de água doce tropical intensiva*. Jaboticabal: Associação Brasileira de Aquicultura e Biologia – AQUABIO, cap. 3, p. 25-43, 2004.

BOYD, C. E.; QUEIROZ, J. F.; McNEVIN, A. **Perspectives on the Responsible Aquaculture Movement.** *World Aquaculture*, 44(4): 14-21, 2013.

BOYD, C. E. & SCHMITTOU, H. R. **Achievement of sustainable aquaculture through environmental management.** *Aquacultures Economic & Management*, 3(1): 59-69, 1999. DOI: 10.1080/13657309909380233

BOYD, C. E.; TUCKER, C.; McNEVIN, A.; BOSTICK, K.; CLAY, J. **Indicators of resource use efficiency and environmental performance in fish and crustacean aquaculture.** *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 15(4): 327-360, 2007. DOI: 10.1080/10641260701624177

BRABO, M. F.; BRITO, C. R.; SOUZA, G. da S.; FERREIRA, P. F. G.; CAMPELO, D. A. V.; VERAS, G. C. **Visão técnica da gestão ambiental da piscicultura no nordeste do estado do Pará.** *Acta of Fisheries and Aquatic Resources*, 5(2): 11-18, 2017a. DOI: 10.2312/ActaFish.2017.5.2.11-18

BRABO, M. F.; FEIRREIRA, L. de A.; VERAS, G. C.; CINTRA, I. H. A.; PAIVA, R. S.; FUJIMOTO, R. Y. **Proposta de indicadores de sustentabilidade para parques aquícolas continentais: avaliação de um empreendimento na Amazônia.** *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 10, n. 2, p. 315-321, 2015. DOI: 10.5039/agraria.v10i2a5309

BRABO, M. F.; RAMOS JÚNIOR, A. de L.; COSTA, J. W. P.; REIS, T. da S.; CAMPELO, D. A. V.; VERAS, G. C. **A piscicultura na área de influência de um grande projeto de mineração na Amazônia Brasileira.** *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, 10(1): 69-82, 2017b. DOI: 10.18817/repesca.v10i1.1314

BRASIL. Decreto-Lei n.º 5 452, de 1 de maio de 1943. **Aprova a Consolidação das Leis do Trabalho**. In: *Diário Oficial da União*, Brasília, 09 de agosto de 1943.

BRAY, P. **Sustainable aquaculture: a review of existing certification programs**. *World Aquaculture*, 23(1): 23-26, 2018.

BRETT, J. R. & GROVES, T. D. D. **Physiological Energetics**. *Fish Physiology*, 40(B): 603-676, 2024. DOI: 10.1016/bs.fp.2024.07.007

BRIDSON, P. B.; STONER, J. M. S.; FRANSEN, M. H.; IRELAND, J. **The aquaculture sustainability continuum – Defining an environmental performance framework**. *Environmental and Sustainability Indicators*, 8: 100050, 2020. DOI: 10.1016/j.indic.2020.100050

BRUGÈRE, C.; AGUILAR-MANJARREZ, J.; BEVERIDGE, M. C. M.; SOTO, D. **The ecosystem approach to aquaculture 10 years on—acritical review and consideration of its future role in blue growth**. *Reviews in Aquaculture*, 11(3): 493-514, 2019. DOI: 10.1111/raq.12242

BRUGÈRE, C.; BANSAL, T.; KRUIJSSEN, F.; WILLIAMS, M. **Humanizing aquaculture development: Putting social and human concerns at the center of future aquaculture development**. *Journal of World Aquaculture Society*, 54(2): 482-526, 2023. DOI: 10.1111/jwas.12959

BRUMMETT, R. **Growing aquaculture in sustainable ecosystems**. *Agriculture and Environmental Services Department Notes*, 1(5): 78823, 2013.

BRUMMETT, R. E.; LAZARD, J.; MOEHL, J. **African aquaculture: Realizing the potential**. *Food Policy*, 33: 371-385, 2008. DOI: 10.1016/j.foodpol.2008.01.005

BUENO, G. W.; BUREAU, D.; SKIPPER-HORTO, J. O.; ROUBACH, R.; MATTOS, F. T. de; BERNAL, F. E. M. **Modelagem matemática para gestão da capacidade de suporte de empreendimentos aquícolas em lagos e reservatórios**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(9): 695-706, 2017. DOI: 10.1590/S0100-204X2017000900001

BUENO, G. W.; CAMARGO, T. R.; SAMPAIO, F. G.; MACHADO, L. P.; ROUBACH, R. **Challenges to advance aquaculture 4.0 in Brazil**. *World Aquaculture*, 52(2): 37-42, 2021.

BUENO, G. W.; LEONARDO, A. F. G.; MACHADO, L. P.; BRANDE, M. R.; GODOY, E. M.; DAVID, F. S. **Indicadores de sustentabilidade socioambiental de pisciculturas familiares em área de Mata Atlântica, no Vale do Ribeira – SP**. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 72(3): 901-910, 2020. DOI: 10.1590/1678-4162-11389

BUSH, S. R.; BELTON, B.; HALL, D. VANDERGEEST, P.; MURRAY, F. B.; PONTE, S.; OOSTERVEER, P.; ISLAM, M. S.; MOL, A. P. J.; HATANAKA, M. KRUIJSSEN, F.; HA, T. T. T.; LITTLE, D. C.; KUSUMAWATI, R. **Certify Sustainable Aquaculture?** *Science*, 341(6150): 1067-1068, 2013. DOI: 10.1126/science.1237314

CAMPANATI, C.; WILLER, D.; SCHUBERT, J.; ALDRIDGE, D. C. **Sustainable Intensification of Aquaculture through Nutrient Recycling and Circular Economies: More Fish, Less Waste, Blue Growth.** *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 30(2): 143-169, 2022. DOI: 10.1080/23308249.2021.1897520

CARDOSO, A. S.; EL-DEIR, S.; G.; CUNHA, M. C. C. **Bases da sustentabilidade para atividade de piscicultura no semiárido de Pernambuco.** *Interações*, v. 17, n. 4, p. 645-653, 2016. DOI: 10.20435/1984-042X-2016-v.17-n.4(08)

CARLUCCI, D.; DEVITIIS, B. D.; NARDONE, G.; SANTERAMO, F. G. **Certification Labels Versus Convenience Formats: What Drives the Market in Aquaculture Products?** *Marine Resource Economics*, 32(3): 295-310, 2017. DOI: 10.1086/692091

CARROLL, M. L.; COCHRANE, S.; FIELER, R.; VELVIN, R.; WHITE, P. **Organic enrichment of sediments from salmon farming in Norway: Environmental factors, management practices and monitoring techniques.** *Aquaculture*, 226(1): 165-180, 2003. DOI: 10.1016/S0044-8486(03)00475-7

CASTRO, F. S.; BARBOSA, N. D.; LOBATO, A. do N. **Avaliação da estrutura física e da qualidade da água em pisciculturas no município de Macapá - AP - Brasil.** *Revista de Ciências da Amazônia*, n. 2, v. 1, p. 27-40, 2014.

CASTRO, D. R. C.; BRABO, M. F.; ROCHA, R. M. da; CAMPELO, D. A. V.; VERAS, G. C.; RODRIGUES, R. P. **Custo de produção e rentabilidade da criação de tambaqui *Colossoma macropomum* no Estado do Pará, Amazônia, Brasil.** *Research, Society and Development*, 9(9): e58996522, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.6522.

CAVALLI, L. S.; MARQUES, F. B.; WATTERSON, A. **A critical overview of work-related injury and illness in aquaculture workers from Brazil.** *Reviews in Aquaculture*, 12: 1157-1164, 2020. DOI: 10.1111/raq.12377

_____. **Aquaculture occupational safety and health in Brazil.** *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 14(47): 1-9, 2019. DOI: 10.1079/PAVSNNR201914047

CAVALLI, L. S.; ROCHA, A. F. da; BRITO, B. G. de; BRITO, K. C. T. de; ROTTA, M. A. **Major Sustainable Development Goals applied to Aquaculture.** *Pesquisa Agropecuária Gaucha*, 27(1): 110-126, 2021. DOI: 10.36812/pag.2021271110-126

CAVALLI, L. S.; TAPIA-JOPIA, C.; OCHS, C.; LÓPEZ GÓMEZ, M. A.; NEIS, B. **Salmon mass mortality events and occupational health and safety in Chilean aquaculture.** *All Life*, 16(1): 2207772, 2023. DOI: 10.1080/26895293.2023.2207772

CAVERO, B. A. S.; RUBIM, M. A. L.; PEREIRA, T. M. **Criação comercial do tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818).** In: TAVARES-DIAS, M. (Org.) *Manejo e sanidade de peixes em cultivo*. Macapá: Embrapa Amapá, p. 33-46, 2009.

CHANG, H.-H. **Does the use of eco-labels affect income distribution and income inequality of aquaculture producers in Taiwan?** *Ecological Economics*, 80: 101-108, 2012. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2012.05.011

CHARLES, H.; GODFRAY, J.; GARNETT, T. **Food security and sustainable intensification.** *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1639): 20120273, 2014. DOI: 10.1098/rstb.2012.0273

CHARY, K.; BRIGOLIN, D.; CALLIER, M. D. **Farm-scale models in fish aquaculture – An overview of methods and applications.** *Reviews in Aquaculture*, 14(4): 2122-2157, 2022. DOI: 10.1111/raq.12695

CHOWDHURY, A.; KHAIRUN, Y.; SHIVAKOTI, G. P. **Indicator-based sustainability assessment of shrimp farming: a case for extensive culture methods in South-western coastal Bangladesh.** *International Journal of Sustainable Development*, 18(4): 2015. DOI: 10.1504/IJSD.2015.072646

CHUNG, M. M. S.; BAO, Y.; ZHANG, B. Y.; LE, T. M.; HUANG, J.-Y. **Life Cycle Assessment on Environmental Sustainability of Food Processing.** *Annual Review of Food Science and Technology*, 13: 217-237, 2022. DOI: 10.1146/annurev-food-062420-014630

CLAY, J. W. **The Role of Better Management Practices in Environmental Management.** In: TUCKER, C. S.; HARGREAVES, J. A. (Eds.) *Environmental Best Management Practices for Aquaculture*. John Wiley & Sons, pp. 55-72, 2008. DOI: 10.1002/9780813818672.ch2

COELHO, Y. K. da S.; TROMBETA, T. D.; BRABO, M. F.; ZACARDI, D. M. **A piscicultura no Baixo Amazonas: aspectos socioeconômicos, tecnológicos e produtivos.** *Research, Society and Development*, 9(11): 1-20, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i11.10598

COLDEBELLA, A.; GENTELINI, A. L.; PIANA, P. A.; COLDEBELA, P. F.; BOSCOLO, W. R.; FEIDEN, A. **Effluents from Fish Farming Ponds: A View from the Perspective of Its Main Components.** *Sustainability*, 10(1): 3, 2018. DOI: 10.3390/su10010003

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** *Diário Oficial da União*, Brasília, 18 de março de 2005.

_____. Resolução nº 413 de 26 de julho de 2009. **Dispõe sobre o licenciamento ambiental da aquicultura, e dá outras providências.** In: *Diário Oficial da União*, Brasília, 30 de julho de 2009.

_____. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.** *Diário Oficial da União*, Brasília, 16 de maio de 2011.

CONCEIÇÃO, L. E. C.; ARAGÃO, C.; DIAS, J.; COSTA, B.; TEROVA, G.; MARTINS, C.; TORT, L. **Dietary nitrogen and fish welfare.** *Fish Physiology and Biochemistry*, 38(1): 119-131, 2012. DOI: 10.1007/s10695-011-9592-y

CONDE, T. T.; CODOGNOTO, L da C.; FARIA, G. A.; MALTONI, K. L.; RIBEIRO, C. da. **S. Parâmetros Limnológicos de corpos hídricos utilizados para produção de Tambaqui na Amazônia.** *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 14, n. 1, p. 167-176, 2021. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14n1e007789

COSTA, J.; FREITAS, R.; GOMES, A. L.; BERNARDINO, G.; CARNEIRO, D.; MARTINS, M. I. **Effect of stocking density on economic performance for *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1816), juvenile in earthen ponds.** *Latin American Journal of Aquatic Research*, 44(1): 165-170, 2016. DOI: 10.3856/vol44-issue1-fulltext-18

COSTA, J. I. da; GOMES, A. L. S.; BERNARDINO, G.; SABBAG, O. J.; MARTINS, M. I. E. G. **Productive performance and economic evaluation of tambaqui roelo in excavated fishponds, Manaus, Brazil.** *Revista Agro@ambiente On-line*, v. 12, n. 3, p. 234-244, 2018. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v12i3.4895

COSTA, A. L. S. da; RODRIGUES, M. de S.; RICCI, F. **Caracterização da piscicultura na região de Ariquemes, no estado de Rondônia.** *Revista de Geografia Agrária*, v. 10, n. 20, p. 512-537, 2015. DOI: 10.14393/RCT102027341

COSTA, J. I. da; SABBAG, O. J.; MARTINS, M. I. E. G. **Scale efficiency in tambaqui farming in earth ponds in the Metropolitan Region of Manaus-AM.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 46(2): e584, 2020. DOI: 10.20950/1678-2305.2020.46.2.584

COSTA-PIERCE, B. A. **Sustainable Ecological Aquaculture Systems: The Need for a New Social Contract for Aquaculture Development.** *Marine Technology Society Journal*, 44(3): 88-112, 2010. DOI: 10.4031/MTSJ.44.3.3

COSTA, F. V. L.; SEGUNDO, F. C. G. da S.; SOUZA, R. R. de. **Sistema de Monitoramento da Qualidade de Água para Piscicultura.** *Conjecturas*, 22(11): 511-534, 2022. DOI: 10.53660/CONJ-1396-Z17

COUTURE, J. L.; FROELICH, H. E.; BUCK, B. H.; JEFFERY, K. R.; KRAUSE, G.; MORRIS JR, J. A.; PÉREZ, M.; STENTIFORD, G. D.; VEHVILÄINEN, H. **Scenario analysis can guide aquaculture planning to meet sustainable future production goals.** *ICES Journal of Marine Science*, 78(3): 821-831, 2021. DOI: 10.1093/icesjms/fsa b012

COWX, I. G. & OGUTU-OWHAYO, R. **Towards sustainable fisheries and aquaculture management in the African Great Lakes.** *Fisheries Management and Ecology*, 26(5): 397-405, 2019. DOI: 10.1111/fme.12391 2019.

CRAVEIRO, J. M. da C.; FREITAS, C. E. de C.; CAVERO, B. A. S.; JUNIOR, M. S. **Influência do Tempo de Alevinagem na Otimização da Produção de Biomassa do Tambaqui em Piscicultura Semi-Intensiva na Região Norte do Amazonas.** *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 18(4): 1-21, e04332, 2024. DOI: 10.24857/rgsa.v18n4-014

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

CRUZ, M. F. G. & BORDINHON, A. M. **Impactos ambientais e conservação dos recursos naturais associados à aquicultura familiar de Humaitá/AM: do licenciamento ambiental ao uso dos recursos naturais.** *Revista Educação Ambiental em Ação*, v. 17, n. 65, 2018.

CRUZ, A. C. R. da; FAYAL, J. de M.; SOARES, J. L. F. **Avaliação da sustentabilidade de uma piscicultura através do método mesmis: um estudo de caso, no município de Abaetetuba, Amazonia oriental.** *Brazilian Journal of Development*, 6(2): 5559-5570, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n2-016

CYRINO, J. E. P.; BICUDO, Á. J. de A.; SADO, R. Y.; BORGHESI, R.; DAIRIKI, J. K. **A piscicultura e o ambiente – o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(suppl): 68-87, 2010.

DANTAS-FILHO, J. V. **Gestão de Custos na Piscicultura no Município de Presidente Médici – Rondônia – Brasil.** *Associação Brasileira de Custos*, v. 12, n. 2, p. 29-52, 2017. DOI: 10.47179/abcustos.v12i2.425

DAUDA, A. B.; AJADI, A.; TOLA-FABUNMI, A. S. **Waste production in aquaculture: Sources, components and managements in different culture systems.** *Aquaculture and Fisheries*, 4(3): 81-88, 2019. DOI: 10.1016/j.aaf.2018.10.002

DAVID, F. S.; FONSECA, T.; BUENO, G. W.; VALENTI, W. C. **Economic feasibility of intensification of *Macrobrachium rosenbergii* hatchery.** *Aquaculture Research*, 49(12): 3769-3776, 2018. DOI: 10.1111/are.13844

DAVID, L. H. C.; PINHO, S. M.; AGOSTINHO F.; KIMPARA, J. M.; KEESMAN, K. J.; GARCIA, F. **Emergy synthesis for aquaculture: A review on its constraints and potentials.** *Reviews in Aquaculture*, 13(2): 1119-1138, 2020. DOI: 10.1111/raq.12519

DAVID, F. S.; PROENÇA, D. C.; VALENTI, W. C. **Nitrogen budget in integrated aquaculture systems with Nile tilapia and Amazon River prawn.** *Aquaculture International*, 25: 1733-1746, 2017a. DOI: 10.1007/s10499-017-0145-y

_____. **Phosphorus Budget in integrated multitrophic aquaculture systems with Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*, and Amazon River Prawn, *Macrobrachium amazonicum*.** *Journal of the World Aquaculture Society*, 48(3): 402-414, 2017b. DOI: 10.1111/jwas.2017.48.issue-310.1111/jwas.12404

DIANA, J. S.; EGNA, H. S.; CHOPIN, T.; PETERSON, M. S.; CAO, L.; POMEROY, R.; VERDEGEM, M.; SLACK, W. T.; BONDAD-REANTASO, M. G.; CABELLO, F. **Responsible Aquaculture in 2050: Valuing Local Conditions and Human Innovations Will Be Key to Success.** *BioScience*, 63(4): 255-262, 2013. DOI: 10.1525/bio.2013.63.4.5

DOLORES-SALINAS, E. & MIRET-PASTOR, L. **Environmental certifications in Brazilian aquaculture.** *Aquaculture International*, 32(6): 8609-8630, 2024. DOI: 10.1007/s10499-024-01582-5

ELER, M. N. & MILLANI, T. J. **Métodos de estudos de sustentabilidade aplicados a aquicultura.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(suppl): 33-44, 2007. DOI: 10.1590/S1516-35982007001000004

ENGLE, C. R. **Bringing aquaculture sustainability down to earth.** *Journal of World Aquaculture Society*, 50(2): 246-248, 2019. DOI: 10.1111/jwas.2019.50.issue-210.1111/jwas.12609

ENGLE, C. R. **The workforce needed to support future growth of aquaculture.** *Journal of World Aquaculture Society*, 52(4): 768-771, 2021. DOI: 10.1111/jwas.12838

ENGLE, C. R.; McNEVIN, A.; RACINE, P.; BOYD, C. E.; PAUNGKAEW, D.; VIRIYATUM, R.; TINH, H. Q.; MINH, H. N. **Economics of Sustainable Intensification of Aquaculture: Evidence from Shrimp Farms in Vietnam and Thailand.** *Journal of World Aquaculture Society*, 48(2): 227-239, 2017. DOI: 10.1111/jwas.12423

ENGLE, C. R. & van SENTEN, J. **Resilience of Communities and Sustainable Aquaculture: Governance and Regulatory Effects.** *Fishes*, 7(5): 268, 2022. DOI: 10.3390/fishes7050268

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action.* Rome: FAO, 2024, 232p. DOI: 10.4060/cd0683en

FEITOZA, D. L. S.; SONODA, D. Y.; SOUZA, L. A. de. **Risco da rentabilidade em pisciculturas de tambaqui nos estados do Amazonas, Rondônia e Roraima.** *Revista iPecege*, 4(4): 40-53, 2018. DOI: 10.22167/r.ipecege.2018.4.40

FERREIRA, N. de A.; ARAÚJO, R. V. de; CAMPOS, E. C. **Boas práticas no pré-abate e abate de pescado.** *Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia (PubVet)*, 12(7): a137, 2018. DOI: 10.31533/pubvet.v12n7a137.1-14

FERREIRA, D. & GIL BARCELLOS, L. J. **Enfoque combinado entre as Boas Práticas de Manejo e as Medidas Mitigadoras de Estresse na piscicultura.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 34(4): 601-611, 2008.

FIALHO, N. S.; VALENTI, W. C.; DAVID, F. S.; GODOY, E. M.; PROENÇA, D. C.; ROUBACH, R.; BUENO, G. W. **Environmental sustainability of Nile tilapia net-cage culture in a neotropical region.** *Ecological Indicators*, 129: 108008, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.108008

FILIPSKI, M. & BELTON, B. **Give a Man a Fishpond: Modeling the Impacts of Aquaculture in the Rural Economy.** *World Development*, 110: 205-223, 2018. DOI: 10.1016/j.worlddev.2018.05.023

FLICKINGER, D. L.; COSTA, G. A.; DANTAS, D. P.; MORAES-VALENTI, P.; VALENTI, VALENTI, W. C. **The budget of nitrogen in the grow-out of the Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum* Heller) and tambaqui (*Colossoma macropomum* Cuvier) farmed in monoculture and in integrated multitrophic aquaculture systems.** *Aquaculture Research*, 50: 3444-3461, 2019. DOI: 10.1111/are.14304

FLICKINGER, D. L.; DANTAS, D. P.; PROENÇA, D. C.; DAVID, F. S.; VALENTI, W. C. **Phosphorus in the culture of the Amazon river prawn (*Macrobrachium amazonicum*) and tambaqui (*Colossoma macropomum*) farmed in monoculture and in integrated multitrophic systems.** *Journal of the World Aquaculture Society*, 51(4): 1002-1023, 2020. DOI: 10.1111/jwas.12655

FOLKE, C.; CARPENTER, S.; WALKER, B.; SCHEFFER, M.; ELMQVIST, T.; GUNDERSON, L.; HOLLING, C. S. **Regime shifts, resilience and biodiversity in ecosystem management.** *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35: 557-81, 2004. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.35.021103.105711

FONSECA, T.; COSTA-PIERCE, B. A.; VALENTI, W. C. **Lambari Aquaculture as a Means for the Sustainable Development of Rural Communities in Brazil.** *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 25(4): 316-330, 2017. DOI: 10.1080/23308249.2017.1320647

FONSECA, T.; DAVID, F. S.; RIBEIRO, A. S.; WAINBERG, A.; VALENTI, W. C. **Technical and economic feasibility of integrating seahorse culture in shrimp/oyster farms.** *Aquaculture Research*, 48(2): 655-664, 2015. DOI: 10.1111/are.12912

FØRE, H. M.; THORVALDSEN, T.; OSMUNDSSEN, T. C.; ASCHE, F.; TVETERÅS, R.; FAGERTUN, J. T.; BJELLAND, H. V. **Technological innovations promoting sustainable salmon (*Salmo salar*) aquaculture in Norway**. *Aquaculture Reports*, 24: 101115, 2022. DOI: 10.1016/j.aqrep.2022.101115

FREITAS, R. S.; BOIJINK, C. de L.; MUNIZ, A. W.; DAIRIK, J. K.; INOUE, L. A. K. A. **Qualidade da água e perspectivas para gerenciamento ambiental dos cultivos de tambaqui no município de Rio Preto da Eva, AM**. *Scientia Amazonia*, 3(1): 116-126, 2014.

FREITAS, C. E. de C.; MERELES, M. de A.; PEREIRA, D. V.; SIQUEIRA-SOUZA, F.; HURD, L.; KAHN, J.; MORAIS, G.; SOUSA, R. G. C. **Death by a thousand cuts: Small local dams can produce large regional impacts in the Brazilian Legal Amazon**. *Environmental Science & Policy*, 136: 447-452, 2022. DOI: 10.1016/j.envsci.2022.07.013

FREITAS, L. E. L. e; RODRIGUES, A. P. O.; MORO, G. V. LUNDSTEDT, L. A. **Práticas para avaliação da qualidade física em rações para peixes**. *Circular Técnica 3*. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2016, 7p.

FRY, J. P.; CERYES, C. A.; VOORHEES, J. M.; BARNES, N. A.; LOVE, D. C.; BARNES, M. E. **Occupational Safety and Health in U.S. Aquaculture: A Review**. *Journal of Agromedicine*, 24(4): 405-423, 2019. DOI: 10.1080/1059924X.2019.1639574

GALLI, A.; GIAMPIETRO, M.; GOLDFINGER, S.; LAZARUS, E.; LIN, D.; SALTELLI, A.; WACKERNAGEL, M.; MÜLLER, F. **Questioning the Ecological Footprint**. *Ecological Indicators*, 69: 224-232, 2016. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.04.014

GAMA, C. de S. **A criação de tilápia no estado do Amapá como fonte de risco ambiental**. *Acta Amazonica*, 38(3): 525-530, 2008. DOI: 10.1590/S0044-59672008000300018

GANDRA, A. L. *O mercado de pescado da região metropolitana de Manaus*. Série: O mercado do pescado nas grandes cidades latino-americanas. Proyecto mejoramiento del acceso a los mercados de productos pesqueros y acuícolas de la Amazônia – CFC/FAO/INFOPESCA. Montevideu: Infopesca, 2010, 91p.

GARCIA, F. & KIMPARA, J. M. **Aquicultura e Sustentabilidade – Parte 2**. *Pesquisa & Tecnologia*, v. 9, n. 2, 2012.

GARLOCK, T. M.; ASCHE, F.; ANDERSON, J. L.; EGGERT, H.; ANDERSON, T. M.; CHE, B.; CHÁVES, C. A.; CHU, J.; CHUKWUONE, N.; DEY, M. M.; FITZSIMMONS, K.; FLORES, J.; GUILLEN, J.; KUMAR, G.; LIU, L.; LLORENTE, I.; NGUYEN, L.; NIELSEN, R.; PINCINATO, R. B. M.; SUDHAKARAN, P. O.; TIBESIGWA, B.; TVETERAS, R. **Environmental, economic, and social sustainability in aquaculture: the aquaculture performance indicators**. *Nature Communications*, 15: 5274, 2024. DOI: 10.1038/s41467-024-49556-8

GENTRY, R. R.; LESTER, S. E.; KAPPEL, C. V.; WHITE, C.; BELL, T. W.; STEVENS, J.; GAINES, S. D. **Offshore aquaculture: Spatial planning principles for sustainable development.** *Ecology and Evolution*, 7(2): 733-743, 2017. DOI: 10.1002/ece3.2637

GEPHART, J. A.; GOLDEN, C. D.; ASCHE, F.; BELTON, B.; BRUGERE, C.; FROEHLICH, H. E.; FRY, J. P.; HALPERN, B. S.; HICKS, C. C.; JONES, R. C.; KLINGER, D. H.; LITTLE, D. C.; McCAULEY, D. J.; THILSTED, S. H.; TROELL, M.; ALLISON, E. H. **Scenarios for Global Aquaculture and Its Role in Human Nutrition.** *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 29(1): 121-137, 2021. DOI: 10.1080/23308249.2020.1782342

GHOLIFAR, E.; ABBASI, E.; RAD, G. P.; SALEHI, H.; REZAEI, A. **Development and Validation of Sustainable Aquaculture Indicators: Case of Alborz Dam Basin, Mazandaran, Iran.** *International Journal of Agricultural Management and Development*, 7(2): 191-199, 2017. DOI: 10.22004/ag.econ.262639

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F. **Food security: the challenge of feeding 9 billion people.** *Science*, 327: 812-818, 2010. DOI: 10.1126/science.1185383

GOMES, L. C. & SILVA, C. R. **Impact of pond management on tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier), production during growth-out phase.** *Aquaculture Research*, 40(7): 825-832, 2009. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2009.02170.x

GONDWE, M. J. S.; GUILDFORD, S. J.; HECKY, R. E. **Carbon, nitrogen and phosphorus loadings from tilapia fish cages in Lake Malawi and factors influencing their magnitude.** *Journal of Great Lakes Research*, 37: 93-101, 2011. DOI: 10.1016/j.jglr.2010.11.014

GONZÁLEZ, O. H. A.; BELTRÁN, L. F.; CÁCERES-MARTÍNEZ, C.; RAMÍREZ, H.; HERNÁNDEZ-VAZQUEZ, S.; TROYO-DIEGUEZ, E.; ORTEGA-RUBIO, A. **Sustainability development analysis of semi-intensive shrimp farms in Sonora, México.** *Sustainable Development*, 11: 213-222, 2003. DOI: 10.1002/sd.21

GORDON, L. J.; BIGNET, V.; CRONA, B.; HENRIKSSON, P. J. G.; HOLT, T. V.; JONELL, M.; LINDAHL, T.; TROELL, M.; BARTHEL, S.; DEUTSCH, L.; FOLKER, C.; HAIDER, L. J.; ROCKSTRÖM, J.; QUEIROZ, C. **Rewiring food systems to enhance human health and biosphere stewardship.** *Environmental Research Letters*, 12(10): 100201, 2017. DOI: 10.1088/1748-9326/aa81dc

GOTO, G. M.; CORWIN, E.; FARTHING, A.; LUBIS, A. R.; KLINGER, D. H. **A nature-based solutions approach to managing shrimp aquaculture effluent.** *PLOS Sustain Transform*, 2(8): e0000076. DOI: 10.1371/journal.pstr.0000076

GRIGORAKIS, K. & RIGOS, G. **Aquaculture effects on environmental and public welfare – The case of Mediterranean mariculture.** *Chemosphere*, 85(6): 899-919, 2011. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2011.07.015

GUERREIRO, L. R. J.; STREIT JR, D. P. S.; ROTTA, M. A. **Análises econômica e de custos em unidade produtora de alevinos de peixes reofílicos brasileiros.** *Custos e @gronegocio online*, v. 11, n. 4, p. 377-400, 2015.

GUILLEN, J.; ASCHE, F.; CARVALHO, N. **Aquaculture subsidies in the European Union: Evolution, impact and future potential for growth.** *Marine Policy*, 104: 19-28, 2019. DOI: 10.1016/j.marpol.2019.02.045

GUILLEN, J.; ASCHE, F.; BORRIELLO, A.; CARVALHO, N.; DRUON, J. N.; GARLOCK, T.; LLORENTE, I.; MACIAS, D. **What is happening to the European Union aquaculture production? Investigating its stagnation and sustainability.** *Aquaculture*, 596(Part 1): 741793, 2025. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2024.741793

HALVER, J. E. **Formulating Practical Diets for Fish.** *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 33(4): 1032-1039, 1976. DOI: 10.1139/f76-131

HAMMARLUND, C.; SVENSSON, K.; ASCHE, F.; BRONNMANN, J.; OSMUNDSEN, T.; NIELSEN, R. **Eco-certification in aquaculture—economic incentives and effects.** *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 33(3): 402-415, 2025. DOI: 10.1080/23308249.2024.2440712

HENARES, M. N. P.; MEDEIROS, M. V.; CAMARGO, A. F. M. **Overview of strategies that contribute to the environmental sustainability of pond aquaculture: rearing systems, residue treatment, and environmental assessment tools.** *Reviews in Aquaculture*, 12(1): 453-470, 2020. DOI: 10.1111/raq.12327

HENRY-SILVA, G. G.; CACHOS, J. C. da S.; MOURA, R. S. T.; FLICKINGER, D. L.; VALENTI, W. C. **Economic, social, and environmental assessment of farming Nile tilapia in net-cages in a reservoir in hot semi-arid region during an extended drought event.** *Environmental Science and Pollution Research*, 29 (52): 78768-78779, 2022. DOI: 10.1007/s11356-022-20998-1

HENRY-SILVA, G. G. & CAMARGO, A. F. M. **Impacto das atividades de aqüicultura e sistemas de tratamento de efluentes com macrófitas aquáticas – relato de caso.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 34(1), 163-173, 2008.

HENRIKSSON, P. J. G.; BANKS, L.; SURI, S.; PRATIWI, T. Y.; FATAN, N. A.; TROELL, M. **Indonesian aquaculture futures – identifying interventions for reducing environmental impacts.** *Environmental Research Letters*, 14(12): 124062, 2019. DOI: 10.1088/1748-9326/ab4b79

HENRIKSSON, P. J. G.; BELTON, B.; JAHAN, K. M.; RICO, A. **Measuring the potential for sustainable intensification of aquaculture in Bangladesh using life cycle assessment.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(12): 2958-2963, 2018. DOI: 10.1073/pnas.1716530115

HENRIKSSON, P. J. G.; TROELL, M.; BANKS, L. K.; BELTON, B.; BEVERIDGE, M. C. M.; KLINGER, D. H.; PELLETIER, N.; PHILLIPS, M. J.; TRAN, N. **Interventions for improving the productivity and environmental performance of global aquaculture for future food security.** *One Earth*, 4(9): 1220-1232, 2021. DOI: 10.1016/j.oneear.2021.08.009

HILSDORF, A. W. S.; HALLERMAN, E.; VALLADÃO, G. M. R.; ZAMINHAN-HASSEMER, M.; HASHIMOTO, D. T.; DAIRIKI, J. K.; TAKAHASHI, L. S.; ALBERGARIA, F. C.; GOMES, M. E. de S.; VENTURIERI, R. L. L.; MOREIRA, R. G.; CYRINO, J. E. P. **The farming and husbandry of *Colossoma macropomum*: From Amazonian waters to sustainable production.** *Reviews in Aquaculture*, 00: 1-35, 2021. DOI: 10.1111/raq.12638

HILSDORF, A. W. S.; HALLERMAN, E.; VALLADÃO, G. M. R.; ZAMINHAN-HASSEMER, M.; HASHIMOTO, D. T.; DAIRIKI, J. K.; TAKAHASHI, L. S.; ALBERGARIA, F. C.; GOMES, M. E. de S.; VENTURIERI, R. L. L.; MOREIRA, R. G.; HURTADO, F. B.; FIGUEIREDO, F. M.; COSTA, R. L. da; BOMFIM, S. C.; QUEIROZ, C. B. de; PONTES, W. P. **Parâmetros limnológicos em viveiros de piscicultura semi-intensiva de tambaqui com abastecimento em disposição sequencial.** *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 11, n. 1, p. 9-30, 2018. DOI: 10.17765/2176-9168.2018v11n1p9-30

HOLEN, S. M.; UTNE, I. B.; HOLMEN, I. M.; AASJORD, H. **Occupational safety in aquaculture – Part 1: Injuries in Norway.** *Mar Policy*, 96: 184-192, 2017a. DOI: 10.1016/J.MARPOL.2017.08.009.69

_____. **Occupational safety in aquaculture – Part 2: Fatalities in Norway 1982–2015.** *Mar Policy*, 96: 193-199, 2017. DOI: 10.1016/j.marpol.2017.08.005.70

HOLEN, S. & UTNE, I. **A framework based on a systems approach to developing safety indicators in fish farming.** *Safety*, 4(2): 19, 2018. DOI: 10.3390/safety4020019.

HUANG, Y.; CIAIS, P.; GOLL, D. S.; SARDANS, J.; PEÑUELAS, J.; CRESTO-ALEINA, F.; ZHANG, H. **The shift of phosphorus transfers in global fisheries and aquaculture.** *Nature Communications*, 11: 355, 2020. DOI: 10.1038/s41467-019-14242-7

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 2022: População residente, por sexo, idade e cor ou raça – Brasil e Unidades da Federação.* Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2025.

IGARASHI, M. A. **Perspectivas para o Desenvolvimento do Cultivo de Peixe na Agricultura Familiar.** *UNICIÊNCIAS*, v. 23, n. 1, p. 21-26, 2019. DOI: 10.17921/1415-5141.2019v23n1p21-26

IOAKEIMIDIS, C.; POLATIDIS, H.; HARALAMBOPOULOS, D. **Use of renewable energy in aquaculture: an energy audit case-study analysis.** *Global NEST Journal*, 15(3): 282-294, 2013. DOI: 10.30955/gnj.000943

ISLAM, M. S. **Nitrogen and phosphorus budget in coastal and marine cage aquaculture and impacts of effluent loading on ecosystem: review and analysis towards model development.** *Marine Pollution Bulletin*, 50(1): 48-61, 2005. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2004.08.008

ITUASSÚ, D. R. & S. T. SPERA. **Abordagem prática do dimensionamento da demanda hídrica em projetos de piscicultura.** *Circular Técnica 2*. Sinop: Embrapa Agrossilvipastoril, 2018, 17p.

IZEL, A. C. U.; CRESCÊNCIO, R.; O'SULLIVAN, F. L. de A.; CHAGAS, E. C.; BOIJINK, C. L.; SILVA, J. I. **Produção intensiva de tambaqui em tanques escavados com aeração.** *Circular Técnica 39*. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, 2013, 4p.

IZEL-SILVA, J.; ONO, E. A.; QUEIROZ, M. N. de; SANTOS, R. B. dos; AFFONSO, E. G. **Aeration strategy in the intensive culture of tambaqui, *Colossoma macropomum*, in the tropics.** *Aquaculture*, 529(3): 735644, 2020. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735644

JENNINGS, S.; STENTIFORD, G.; LEOCADIO, A. M.; JERRY, K. R.; METCALFE, J. D.; KATSIADAKI, I.; AUCHTERLONIE, N.A.; MANGI, S. C.; PINNEGAR, J. K.; ELLIS, T.; PEELER, E. J.; LUISETTI, T.; BAKER-AUSTIN, C.; BROWN, M.; CATCHPOLE, T. L.; CLYNE, F. J.; DYE, S. R.; EDMONDS, N. J.; HYDER, K.; LEE, J.; LEES, D. N.; MORGAN, O. C.; O'BRIEN, C. M.; OIDTMANN, B.; POSEN, P. E.; SANTOS, A. R.; TAYLOR, N. G. H.; TURNER, A. D.; TOWNHILL, B. L.; VERNER-JEFFREYS, D. W. **Aquatic food security: Insights into challenges and solutions from an analysis of interactions between fisheries, aquaculture, food safety, human health, fish and human welfare, economy and environment.** *Fish and Fisheries*, 17: 893-938, 2016. DOI: 10.1111/faf.12152

JIANG, Q.; BHATTARAI, N.; PAHLOW, M.; XU, Z. **Environmental sustainability and footprints of global aquaculture.** *Resources, Conservation and Recycling*, 180: 106183, 2022. DOI: 10.1016/j.resconrec.2022.106183

JOFFRE, O. M.; KLERKX, L.; KHOA, T. N. D. **Aquaculture innovation system analysis of transition to sustainable intensification in shrimp farming.** *Agronomy for Sustainable Development*, 38: 34, 2018. DOI: 10.1007/s13593-018-0511-9

JOLLY, C. M.; NYANDAT, B.; YANG, Z.; RIDLER, N.; MATIAS, F.; ZHANG, Z.; MUREKEZI, P.; MENEZES, A. **Dynamics of aquaculture governance.** *Journal of World Aquaculture Society*, 54(2): 427-481, 2023. DOI: 10.1111/jwas.12967

JONES, A. C.; MEAD, A.; KAISER, M. J.; AUSTEN, M. C. V.; ADRIAN, A. W.; AUCHTERLONIE, N. A.; BLACK, K. D.; BLOW, L. R.; BURY, C.; BROWN, J. H.; BURNELL, G. M.; CONNOLLY, E.; DINGWALL, A.; DERRICK, S.; ENO, N. C.; GAUTIER, D. J. H.; GREEN, K. A.; GUBBINS, M.; HART, P. R.; HOLMYARD, J. M.; IMMINK, A. J.; JARRAD, D. L.; KATOH, E.; LANGLEY, J. C. R.; LEE, D. O'C.; LE VAY, L.; LEFTWICH, C. P.; MITCHELL, M.; MOORE, A.; MURRAY, A. G.; McLAREN, E. M. R.; NORBURY, H.; PARKER, D.; PARRY, S. O.; PURCHASE, D.; RAHMAN, A.; SANVER, F.; SIGGS, M.; SIMPSON, S. D.; SLASKI, R. J.; SMITH, K.; SYVRET, M. L. Q.; TIBBOTT, C.; THOMAS, P. C.; TURNBULL, J.; WHITELEY, R.; WHITTLES, M.; WILCOCKSON, M. J.; WILSON, J.; DICKS, L. V.; SUTHERLAND, W. J. **Prioritization of knowledge needs for sustainable aquaculture: a national and global perspective.** *Fish and Fisheries*, 16: 668-683, 2015. DOI: 10.1111/faf.12086

KAMINSKI, KRUIJSSEN, F.; COLE, S. M.; BEVERIDGE, M. C. M.; DAWSON, C.; MOHAN, C. V.; SURI, S.; KARIM, M.; CHEN, O. L.; PHILLIPS, M. J.; DOWNING, W.; WEIROWSKI, F.; GENSHICK, S.; TRAN, N.; ROGERS, W.; LITTLE, D. C. **A review of inclusive business models and their application in aquaculture development.** *Reviews in Aquaculture*, 12(3): 1881-1902, 2020. DOI: 10.1111/raq.12415

KASSEM, T.; SHAHROUR, I.; KHATTABI, J. E.; RASLAN, A. **Smart and Sustainable Aquaculture Farms.** *Sustainability*, 13: 10685, 2021. DOI: 10.3390/su131910685

KAWARAZUKA, N. & BÉNÉ, C. **Linking small-scale fisheries and aquaculture to household nutritional security: an overview.** *Food Security*, 2(4): 343-357, 2010. DOI 10.1007/s12571-010-0079-y

KIM, Y. & ZHANG, Q. **Modeling of energy intensity in aquaculture: Future energy use of global aquaculture.** *Journal of Aquaculture, Fisheries & Fish Science*, 2(1): 60-89, 2018. DOI: 10.25177/JAFFS.2.1.3

KIMPARA, J. M.; ZADJBAND, A. D.; VALENTI, W. C. **Métodos para Medir a Sustentabilidade na Aquicultura.** *Documentos 218*. Teresina: Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, 2012, 71p.

KING, A. S.; ELLIOTT, N. G.; MACLEOD, C. K.; JAMES, A. M.; DAMBACHER, J. M. **Making better decisions: Utilizing qualitative signed digraphs modeling to enhance aquaculture production technology selection.** *Marine Policy*, 91: 22-33, 2018. DOI: 10.1016/j.marpol.2018.01.032

KLINGER, D. & NAYLOR, R. **Searching for Solutions in Aquaculture: Charting a Sustainable Course.** *Annual Review of Environment and Resources*, 37(1): 247-76, 2012. DOI: 10.1146/annurev-environ-021111-161531

KLUGER, L. C.; FILGUEIRA, R.; WOLFF, M. **Integrating the Concept of Resilience into an Ecosystem Approach to Bivalve Aquaculture Management.** *Ecosystems*, 20: 1364-1382, 2017. DOI: 10.1007/s10021-017-0118-z

KRAUSE, G.; BRUGERE, C.; DIEDRICH, A.; EBELING, M. W.; FERSE, S. C. A.; MIKKELSEN, E.; AGÚNDEZ, J. A. P.; STEAD, S. M.; STYBEL, N.; TROELL, M. **A revolution without people? Closing the people–policy gap in aquaculture development.** *Aquaculture*, 447(11): 44-55, 2015. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.02.009

KUCUKSEZGIN, F.; PAZI, I.; GONUL, L. T.; KOCAK, F.; ERONAT, C.; SAYIN, E.; TALAS, E. **The impact of fish farming on the water column and marine sediments in three coastal regions from eastern Aegean coast.** *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 29564-29580, 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-12695-2

KUMAR, G.; ENGLE, C.; TUCKER, C. **Factors Driving Aquaculture Technology Adoption.** *Journal of the World Aquaculture Society*, 49(3): 447-476, 2018. DOI: 10.1111/jwas.12514

KUMAR, G.; HEGDE, S.; SENTEN, J. van; ENGLE, C.; BOLDT, N.; PARKER, M.; QUAGRAINIE, K.; POSADAS, B.; ASCHE, F.; DEY, M.; AARATTUTHODI, S.; ROY, L. A.; GRICE, R.; FONG, Q.; SCHWARZ, M. **Economic contribution of U.S. aquaculture farms.** *Journal of the World Aquaculture Society*, 55(6): e13091, 2024. DOI: 10.1111/jwas.13091

KUMAR, A.; MOULICK, S.; MAL, B. C. **Selection of aerators for intensive aquacultural pond.** *Aquacultural Engineering*, 56: 71-78, 2013. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2013.05.003

LADISLAU, D. S.; TAKIYAMA, L. R.; SOUZA, P. L.; RIBEIRO, M. W. S.; ARIDE, P. H. R.; LAVANDER, H. D.; BASSUL, L. A.; MATTOS, D. C.; CARDOSO, L. D.; OLIVEIRA, A. T. **Avaliação da qualidade da água em pisciculturas de Macapá, Amapá.** *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v. 11, n. 2, p. 402-417, 2020. DOI: 10.6008/CBP2179-6858.2020.002.0037

LAKTUKA, K.; KALNBALKITE, A.; SNIEGA, L.; LOGINS, K.; LAUKA, D. **Towards the Sustainable Intensification of Aquaculture: Exploring Possible Ways Forward.** *Sustainability*, 15: 16952, 2023. DOI: 10.3390/su152416952

LATRUFFE, L.; BALCOMBE, K.; DAVIDOVA, S.; ZAWALINSKA, K. **Technical and scale efficiency of crop and livestock farms in Poland: does specialization matter?** *Agricultural Economics*, 32: 281-296, 2005. DOI: 10.1111/j.1574-0862.2005.00322.x

LAZARD, J.; REY-VALETTE, H.; AUBIN, J.; MATHÉ, S.; CHIA, E.; CARUSO, D.; MIKOLASEK, O.; BLANCHETON, J. P.; LEGENDRE, M.; RENÉ, F.; LEVANG, P.; SLEMBROUCK, J.; MORISSENS, P.; CLÉMENT, O. **Assessing aquaculture sustainability: a comparative methodology.** *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 21(6): 503-511, 2014. DOI: 10.1080/13504509.2014.964350

LEE, K. K. **Sustainable Aquaculture**. *Journal of Marine Biology and Aquaculture*, 1(1): 12-13, 2015. DOI: 10.15436/2381-0750.15.e001

LEIRA, M. H.; CUNHA, L. T. da; BRAZ, M. S.; MELO, C. C. V.; BOTELHO, H. A.; REGHIM, L. S. **Qualidade da água e seu uso em pisciculturas**. *Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia (PubVet)*, 11(1): 11-17, 2017. DOI: 10.22256/pubvet.v11n1.11-17

LEKANG, O.-I. *Aquaculture engineering*. Wiley-Blackwell, 2013, 415p. DOI: 10.1002/9781118496077

LI, P.; HAN, H.; ZHANG, S.; FANG, H.; FAN, W.; ZHAO, F.; XU, C. **Reviews on the development of digital intelligent fisheries technology in aquaculture**. *Aquaculture International*, 33: 191, 2025. DOI: 10.1007/s10499-025-01870-8

LIMA, C. A. S.; MACHADO-BUSSONS, M. R. F.; OLIVEIRA, A. T.; ARIDE, P. H. R.; O'SULLIVAN, F. L. A.; PANTOJA-LIMA, J. **Socioeconomic and profitability analysis of tambaqui *Colossoma macropomum* fish farming in the state of Amazonas, Brazil**. *Aquaculture Economics & Management*, 24(4): 406-421, 2020. DOI: 10.1080/13657305.2020.1765895

LIMA, C. A. S.; MACHADO-BUSSONS, M. R. F. M.; PANTOJA-LIMA, J. **Classificação dos sistemas de produção e grau de impacto ambiental das pisciculturas no estado do Amazonas, Brasil**. *Revista Colombiana de Ciência Animal*, 11(1): 707-721, 2019. DOI: 10.24188/recia.v11.n1.2019.707

LIMA, A. F.; RODRIGUES, A. P. O.; MACIEL, P. O.; PRYTHON, A.; FLORES, R. M. V.; BEZERRA, T. A. **Small-scale fish farming in seasonal ponds in Brazil: technical and economic characterization**. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 46(2): 314-329, 2018. DOI: 10.3856/vol46-issue2-fulltext-7

LITTLE, D. C.; YOUNG, J. A.; ZHANG, W.; NEWTON, R. W.; MAMUN, A. A.; MURRAY, F. J. **Sustainable intensification of aquaculture value chains between Asia and Europe: a framework for understanding impacts and challenges**. *Aquaculture*, 493(4): 338-354, 2018. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.12.033

LOPES-JUNIOR, H.; GONÇALVES, V. G. F.; NUNES, V. S.; CALDEIRA, T. M.; MACIEL, C. V. da L. **Qualidade da água em produções de pescados da espécie tambaqui na agricultura familiar em Jarú/RO**. *South American Sciences*, 2(1): e21103, 2021. DOI: 10.17648/sas.v2i1

MACEDO, C. F. & SIPAÚBA-TAVARES, L. H. **Eutrofização e qualidade da água na piscicultura: consequências e recomendações**. *Boletim Instituto da Pesca*, 36(2): 149-163, 2010. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpescpa> Acesso em 06 de novembro de 2024.

MACEDÔNIO, A. C. & PICCHIONI, S. A. *Metodologia para o cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuária*. Curitiba: Secretaria de Estado da Agricultura, vol. 1, 1985, 95p.

MACIEL, P. O.; BENAVIDES, M. V.; WEBBER, D. C.; CHAGAS, E. C.; BRANDÃO, F. R.; AQUINO-PEREIRA, S. L.; FUJIMOTO, R. Y. **Caracterização sanitária em cultivos de tabaqui no Estado do Amazonas - polo de produção de Rio Preto da Eva**. *Documentos* 27. Palmas: Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas, TO, 2016, 33p.

MAKRI, E.; WALTERS, D.; WADSWORTH, E.; DEVEREUX, H.; van den BURG, S. W. K. **Occupational health and safety in aquaculture: Organisation of work and employment in small seaweed farms in North West Europe**. *The Economic and Labour Relations Review*, 35(1): 27-44, 2024. DOI: 10.1017/elr.2024.7

MALASSEN, M.; CARMO, C. F. do; TUCCI, A.; BARROS, H. P. de; ROJAS, N. E. T.; FONSECA, F. S. da; YAMASHITA, Y. **Qualidade da água em sistema de piscicultura em tanques-rede no reservatório de Ilha Solteira, SP**. *Boletim do Instituto de Pesca*, 38(1): 15-30, 2012.

MALLICK, S. K. & RUDRA, S. **Livelihood and Environmental Sustainability Analysis Using Aquaculture-based Indicators: A Study on Selected CD Blocks of Purba Medinipur District, West Bengal**. *Indian Journal of Geograpy*, 17-18: 14-24, 2021.

MARQUES, F. B.; HELLEBRANDT, L.; MIRANDA, L.; CAVALLI, L. S. **The women's blue Revolution – Gender equality in Aquaculture**. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, v. 24, ns. 1/2, p. 32-36, 2018. DOI: 10.36812/pag.2018241/232-36

MARTINEZ-PORCHAS, M. & MARTINEZ-CORDOVA, L. R. **World Aquaculture: Environmental Impacts and Troubleshooting Alternatives**. *The Scientific World Journal*, 2012(1): 389623, 2012. DOI: 10.1100/2012/389623

MARTINS, M. L. **Manejo Sanitário da Piscicultura**. In: RANZANI-PAIVA, M. J. T.; TAKEMOTO, R. M.; LIZAMA, M. de los A. P. (Eds.) *Sanidade de Organismos Aquáticos*. Editora Varela, p. 321-330, 2004.

MARTINS, L. P.; FRANCO, V.; FILHO, J. V. D.; FREITAS, C. de O. **Viabilidade econômica para o cultivo do tabaqui (*Colossoma macropomum*) em viveiro escavado no município de urupá, Rondônia-Brasil**. *Revista de Administração e Negócios da Amazônia*, v. 12, n. 2, p. 64-89, 2020. DOI: 10.18361/2176-8366/rara.v12n2p64-89

MASSA, F.; ÀVILA-ZARAGOZA, P.; FEZZARDI, D.; HAMZA, H. A.; GIER, G. Y.; MACIAS, J. C.; DÉNIZ, H.; KRASIĆ, M.; MANDIĆ, M.; SALEM, S. B.; MILONE, N.; NASTASI, A.; CARUSO, F.; FOURDAIN, L. **Selecting priorities, indicators and criteria to monitor sustainable aquaculture development: lessons learned from selected case studies in the Mediterranean**. *Mediterranean Fisheries and Aquaculture Research*, 3(2): 62-74, 2020. DOI: medfar.v3i54660.419078

MATHERA, C. & FANNING, L. **Social licence and aquaculture: Towards a research agenda.** *Marine Policy*, 99(4): 275-282, 2019. DOI: 10.1016/j.marpol.2018.10.049

MATSUNAGA, M.; BERNELMANS, P. F.; TOLEDO, P. E. N. de; DULLEY, R. D.; OKAWA, H.; PEDROSO, I. A. **Metodologia de custos de produção utilizada pelo IEA.** *Boletim Técnico do Instituto de Economia Agrícola*, v. 23, n. 1, p. 123-139, 1976.

MEANTE, R. E. X. & DÓRIA, C. R. da C. **Caracterização da cadeia produtiva da piscicultura no estado de Rondônia: Desenvolvimento e fatores limitantes.** *Revista de Administração e Negócios da Amazônia*, v. 9, n. 4, p. 164-181, 2017.

MEANTE, R. E. X.; SÁ, M. E. de; COSTA, S. M. A. L. **Análise econômica do cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) na região de Ariquemes – RO, Brasil.** *Custos e @gronegocio online*, v. 17, Edição Especial, p. 351-378, 2021.

MELLO, R. **Um modelo para análise energética de agroecossistemas.** *Revista de Administração de Empresas*, 29(4): 45-61, 1989. DOI: 10.1590/S0034-75901989000400005

MEZZALIRA, R. B. M. & ASCHE, F. **The development of Brazilian aquaculture: Introduced and native species.** *Aquaculture Economics & Management*, 20(3): 312-323, 2016. DOI: 10.1080/13657305.2016.1177862

MIALHE, F.; GUNNELL, Y.; MERING, C. **The impacts of shrimp farming on land use, employment and migration in Tumbes, northern Peru.** *Ocean & Coastal Management*, 73: 1e12, 2013. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2012.12.014

MIKKOLA, H. **Aquaculture and Fisheries as a Food Source in the Amazon Region - A Review.** *Food & Nutrition Journal*, 8: 286, 2024. DOI: 10.29011/2575-7091.100186

MILEWSKI, I. & SMITH, R. E. **Sustainable aquaculture in Canada: Lost in translation.** *Marine Policy*, 107: 103571, 2019. DOI: 10.1016/j.marpol.2019.103571

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Resolução CNS nº 466 de 12 de dezembro de 2012. **Aprovar as seguintes diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humano.** In: *Diário Oficial da União*, Brasília, 13 de dezembro de 2012.

MITCHELL, R. J. & LYSTAD, R. P. **Occupational injury and disease in the Australian aquaculture industry.** *Marine Policy*, 99: 216-222, 2019. DOI: 10.1016/J.MARPOL.2018.10.044

MME – Ministério de Minas e Energia. *Balanço Energético Nacional 2024: Ano base 2023.* Empresa de Pesquisa Energética – EPE. Rio de Janeiro: EPE, 2022, 274p. Disponível em: <www.mme.gov.br>. Acesso em: 04 de março de 2024.

MOHANTY, R. K.; AMBAST, S. K.; PANIGRAHI, P.; THAKUR, A. K.; MANDAL, K. G. **Enhancing water use efficiency in monoculture of *Litopenaeus vannamei*: Impacts on pond water quality, waste production, water footprint and production performance.** *Aquacultural Engineering*, 82: 46-55, 2018. DOI: 10.1016/j.aquaeng.2018.06.004

MOK, L. & GAZIULUSOY, I. **Title of the article: Designing for sustainability transitions of aquaculture in Finland.** *Journal of Cleaner Production*, 194: 127e137, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.05.013

MONTELO, R. H. C.; SANTO, R. B. dos; FUGIMURA, M. M. S.; ONO, E. A.; CHAVES, F. A. H.; MATTIOLI, C. C.; AFFONSO, E. G. **Stocking densities of *Colossoma macropomum* in the initial grow-out phase using biofloc technology.** *Aquaculture International*, v. 32, p. 9933-9950, 2024. DOI: 10.1007/s10499-024-01643-9

MORAIS, I. da S. de & O'SULLIVAN, F. L. de A. **Biologia, habitat e cultivo do tambaqui *Colossoma macropomum* (CUVIER, 1816).** *Scientia Amazonia*, 6(1): 81-93, 2017.

MORAES, G. R. P. de; RUFINO, J. P. F.; FREITAS, C. E. de C. **Perfil produtivo e impactos no desenvolvimento da atividade piscícola nas microrregiões do Estado do Amazonas.** *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 14, n. 1, p. 1-12, 2021. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14Supl.1.e8177

MORALES, U. da S.; ROTTA, M. A.; FORNARI, D. C.; STREIT JR, D. P. **Aquaculture sustainability assessed by emergy synthesis: the importance of water accounting.** *Agriculture*, 12(11): 1947, 2022. DOI: 10.3390/agriculture12111947

MOURA, R. S. T. de; LOPES, Y. V. de A.; HENRY-SILVA, G. G. **Sedimentação de nutrientes e material particulado em reservatório sob influência de atividades de piscicultura no semiárido do Rio Grande do Norte.** *Química Nova*, v. 37, n. 8, p. 1283-1288, 2014. DOI: 10.5935/0100-4042.20140203

MOURA, R. S. T.; VALENTI, W. C.; HENRY-SILVA, G. G. **Sustainability of Nile tilapia net-cage culture in a reservoir in a semi-arid region.** *Ecological Indicators*, 66: 574-582, 2016. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.01.052

MUNGKUNG, R. & GHEEWALA, S. H. **Use of life cycle assessment (LCA) to compare the environmental impacts of aquaculture and agri-food products.** In: BARTLEY, D. M.; BRUGÈRE, C.; SOTO, D.; GERBER, P.; HARVEY, B. (Eds.) *Comparative assessment of the environment costs of aquaculture and other food production sectors: methods for meaningful comparisons.* FAO/WFT Expert Workshop on Comparative Assessment of the Environmental Costs of Aquaculture and Other Food Production Sectors. Vancouver: FAO, pp. 87-96, 2007.

MUNGUTI, J. M.; NAIRUTI, R.; ITEBA, J. O.; OBIERO, K. O.; KYULE, D.; OPIYO, M. A.; ABWAO, J.; KIRIMI, J. G.; OUTA, N.; MUTHOKA, M.; GITHUKIA, C. M.; OGELLO, E. O. **Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* Linnaeus, 1758) culture in Kenya: Emerging production technologies and socio-economic impacts on local livelihoods.** *Aquaculture, Fish and Fisheries*, 2: 265-276, 2022. DOI: 10.1002/aff2.58

MURPHY, K. **The social pillar of sustainable development: a literature review and framework for policy analysis.** *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 8(1): 15-29. DOI: 10.1080/15487733.2012.11908081

MUSA, S.; AURA, C. M.; TOMASSON, T.; SIGURGEIRSSON, Ó.; THORARENSEN, H. **Impacts of Nile tilapia cage culture on water and bottom sediment quality: The ability of an eutrophic lake to absorb and dilute perturbations.** *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, 27: e12413, 2022. DOI: 10.1111/lre.12413

MUSTAPHA, U. F.; ALHASSAN, A.-W.; JIANG, D.-N.; LI, G.-L. **Sustainable aquaculture development: a review on the roles of cloud computing, internet of things and artificial intelligence (CIA).** *Reviews in Aquaculture*, 13(4): 2076-2091, 2021. DOI:10.1111/raq.12559

NAKAUTH, A. C. S. S.; NAKAUTH, R. F.; NÓVOA, N. A. C. B. **Caracterização da piscicultura no município de Tabatinga-AM.** *IGAPÓ – Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFAM*, v. 9, n. 2, p. 54-64, 2015.

NASR-ALLAH, A.; GASPARATOS, A.; KARANJA, A.; DOMPREH, E. B.; MURPHY, S.; ROSSIGNOLI, C. M.; PHILLIPS, M.; CHARO-KARISA, H. **Employment generation in the Egyptian aquaculture value chain: implications for meeting the Sustainable Development Goals (SDGs).** *Aquaculture*, 520(1): 734940, 2020. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.734940

NASS, R. A. R.; POVH, J. A.; FORNARI, D. C.; RIBEIRO, R. P.; BRUMATTI, R. C. **Economic analysis of fish productions that use aerators in tanks: a case study in the Center-West region of Brazil.** *Custos e @gronegocio online*, v. 16, n. 1, p. 358-387, 2020.

NATH, S. S. & BOLTE, J. P. **A water budget model for pond aquaculture.** *Aquacultural engineering*, 18(3): 175-188, 1998. DOI: 10.1016/S0144-8609(98)00029-6

NAYLOR, R. L.; FANG, S.; FANZO, J. **A global view of aquaculture policy.** *Food Policy*, 116: 102422, 2023. DOI: 10.1016/j.foodpol.2023.102422

NAYLOR, R. L.; HARDY, R. W.; BUSCHMANN, A. H.; BUSH, S. R.; CAO, L.; KLINGER, D. H.; LITTLE, D. C.; LUBCHENCO, J.; SHUMWAY, S. E.; TROELL, M. **A 20-year retrospective review of global aquaculture.** *Nature*, 591: 551-563, 2021. DOI: 10.1038/s41586-021-03308-6

NETO, R. M.; NOCKO, H. R.; OSTRENSKY, A. **Environmental characterization and impacts of fish farming in the cascade reservoirs of the Paranapanema River, Brazil.** *Aquaculture Environment Interactions*, 6(3): 255-272, 2015. DOI: 10.3354/aei00130

NGAJILO, D.; ADAMS, S.; KINCL, L.; GUERNSEY, J.; JEEBHAY, M. F. **Occupational Health and Safety in Tanzanian Aquaculture – Emerging Issues.** *Journal of Agromedicine*, 28(2): 321-333, 2022. DOI: 10.1080/1059924X.2022.2058139

NGUYEN, K. A. T. & JOLLY, C. M. **Steps Toward the Establishment of a Commercial Aquaculture Insurance Program: Lessons from an Assessment of the Vietnamese Pilot Insurance Program.** *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 27(1): 72-87, 2019. DOI: 10.1080/23308249.2018.1481363

NYANTI, L.; HII, K. M.; SOW, A.; NORHADI, I.; LING T. Y. **Impacts of aquaculture at different depths and distances from cage culture sites in Batang Ai hydroelectric dam reservoir, Sarawak, Malaysia.** *World Applied Sciences Journal*, 19(4): 451–456, 2012. DOI: 10.5829/idosi.wasj.2012.19.04.1340

NOBILE, A. B.; CUNICO, A. M.; VITULE, J. R. S.; QUEIROZ, J.; VIDOTTO-MAGNONI, A. P.; GARCIA, D. A. Z.; ORSI, M. L.; LIMA, F. P.; ACOSTA, A. A.; SILVA, R. J. da; PRADO, F. D. do; PORTO-FORESTI, F.; BRANDÃO, H.; FORESTI, F.; OLIVEIRA, C.; RAMOS, I. P. **Status and recommendations for sustainable freshwater aquaculture in Brazil.** *Aquaculture*, 12(3): 1495-1517, 2020. DOI: 10.1111/raq.12393

NOGUEIRA, S. M. S.; SANTOS, M. A. dos; LORDELO, S. A. V.; FARIAS-FILHO, J. R. de. **Brazilian continental aquaculture: a model for the development of its regularization.** *Acta Scientiarum. Technology*, 42(1): e47064, 2020. DOI: 10.4025/actascitechnol.v42i1.47064

NUNES, J. P.; BRICKER, S. B.; O'LOAN, B.; DABROWSKI, T.; DALLAGHAN, B.; HAWKINS, A. J. S.; O'CONNOR, B.; O'CARROLL, T. **Towards an ecosystem approach to aquaculture: Assessment of sustainable shellfish cultivation at different scales of space, time and complexity.** *Aquaculture*, 315(3-4): 369-383, 2011. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.02.048

NUNES, M. C.; DAVID, L. H.; CASACA, J. de M.; VIQUETTI, E.; HOPPE, R.; DUTRA, S. A. P.; SEIFFERT. **Assessing the Sustainability of Pond-Based Tilapia Farming: A Territorial Perspective in Southern Brazil.** *Aquaculture International*, 33(5): 374, 2025. DOI: 10.1007/s10499-025-02046-0

NUNES, J. S.; MARTINS, S. R.; BORBA, M. R.; MUELBERT, B. **Sustentabilidade de agroecossistemas familiares com produção de peixes na perspectiva agroecológica.** *Revista Brasileira de Agroecologia*, 12(4): 275-286, 2017.

OLIVEIRA, R. C. de. **O panorama da aquíicultura no Brasil: A prática com foco na sustentabilidade.** *Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade*, 2(1): 71-89, 2009.

OLIVEIRA, P. K. de; CAVALLI, R. S.; KUNERT FILHO, H. C.; CARVALHO, D.; BENEDETTI, N.; ROTTA, M. A.; RAMOS, A. S. P.; BRITO, K. C. T. de; BRITO, B. G. de; ROCHA, A. F. da; STECH, M. R.; CAVALLI, L. S. **Occupational Health and Safety in Aquaculture: Insights on Brazilian Public Policies.** *Journal of Agromedicine*, 22(2): 148-158, 2017. DOI: 10.1080/1059924X.2017.1283275

OLIVEIRA, N. I. S. & FLORENTINO, A. C. **Avaliação socioeconômica dos piscicultores do Município de Porto Grande, Amapá, Brasil.** *Ciência & Natura*, 40: e31, 2018. DOI: 10.5902/2179460X29391

OLIVEIRA, R. F. & GALHARDO, L. **Sobre a aplicação do conceito de bem-estar a peixes teleósteos e implicações para a piscicultura.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36(suppl): 77-86, 2007. DOI: 10.1590/S1516-35982007001000009

OLIVEIRA, A. M.; VAL, V. M. F. de A.; VAL, A. L. **Caracterização da atividade de piscicultura nas mesorregiões do estado do Amazonas, Amazônia brasileira.** *Revista Colombiana de Ciência Animal*, 4(1): 154-162, 2012.

O'RYAN, R. & PEREIRA, M. **Participatory indicators of sustainability for the salmon industry: The case of Chile.** *Marine Policy*, 51: 322-330, 2015. DOI: 10.1016/j.marpol.2014.09.010

ORCHARD, S. E.; STRINGER, L. C.; QUINN, C. H. **Impacts of aquaculture on social networks in the mangrove systems of northern Vietnam.** *Ocean & Coastal Management*, 114: 1-10, 2015. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2015.05.019

OSMUNDSSEN, T. C.; AMUNDSSEN, V. S.; ALEXANDER, K. A.; ASCHE, F.; BAILEY, J.; FINSTAD, B.; OLSEN, M. S.; HERNÁNDEZ, K.; SALGADO, H. **The operationalisation of sustainability: Sustainable aquaculture production as defined by certification schemes.** *Global Environmental Change*, 60: 102025, 2020. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2019.102025

OSTI, J. A. S.; MORAES, M. A. B.; CARMO, C. F. do; MERCANTE, C. T. J. **Nitrogen and phosphorus flux from the production of Nile tilapia through the application of environmental indicators.** *Brazilian Journal of Biology*, 78(1): 25-31, 2018. DOI: 10.1590/1519-6984.02116

PACHECO, F. S.; HEILPERN, S. A.; DILEO, C.; ALMEIDA, R. M.; SETHI, S. A.; MIRANDA, M.; RAY, N.; BARROS, N. O.; CAVALI, J.; COSTA, C.; DORIA, C. R.; FAN, J.; FIORELLA, K. J.; FORSBERG, B. R.; GOMES, M.; GREENSTREET, L.; HOLGERSON, M.; McGRATH, D.; McINTYRE, P. B.; MORAES-VALENTI, P.; OLIVEIRA, I.; OMETTO, J. P. H. B.; ROLAND, F.; TRINDADE, A.; UMMUS, M. E.; VALENTI, W. C.; XU, X.; GOMES, C. P.; FLECKER, A. S. **Towards sustainable aquaculture in the Amazon.** *Nature Sustainability*, 8: 234-244, 2025. DOI: 10.1038/s41893-024-01500-w

PAHLOW, M.; VAN OEL, P. R.; MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. **Increasing pressure on freshwater resources due to terrestrial feed ingredients for aquaculture production.** *Science of The Total Environment*, 536: 847-857, 2015. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.07.124

PAHRI, S. D. R.; MOHAMED, A. F.; SAMAT, A. **LCA for open systems: a review of the influence of natural and anthropogenic factors on aquaculture systems.** *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20: 1324-1337, 2020. DOI: 10.1007/s11367-015-0929-0

PANTOJA-LIMA, J.; SANTOS, S. M. dos; OLIVEIRA, A. T. de; ARAÚJO, R. L.; SANTOS-JÚNIOR, J. A. L. dos; BERNARDINO, G.; ALVES, R. R. dos S.; FILHO, A. F.; GOMES, A. L.; ARIDE, P. H. R. **Pesquisa e transferência de tecnologia aliadas para desenvolvimento da aquicultura no Estado do Amazonas.** In: TAVARES-DIAS, M. & MARIANO, W. S. (Org.) *Aquicultura no Brasil: Novas Perspectivas*. São Carlos: Pedro & João, vol. 2, p. 743-761, 2015a.

PANTOJA-LIMA, J.; SANTOS, S. M. dos; OLIVEIRA, A. T.; ARAUJO, R. L.; SILVA-JUNIOR, J. A. L.; ARIDE, P. H. R. **Pró-Rural Aquicultura: Relatos das principais ações de extensão tecnológica e um panorama do setor aquícola do estado do Amazonas, Brasil.** *Nexus-Revista de Extensão do IFAM*, v. 1, n. 1, p. 35-45, 2015.

PAPATRYPHON, PETIT, J.; KAUSHIK, S. J.; WERF, H. M. G. van der. **Environmental Impact Assessment of Salmonid Feeds Using Life Cycle Assessment (LCA).** *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 33(6): 316-323, 2004. DOI: 10.1579/0044-7447-33.6.316

PAPTSOV, A. G.; AVARSKII, N. D.; KOLONCHIN, K. V.; BOGACHEV, A. I.; SEREGIN, S. N.; GASANOVA, K. N. **Insurance as a Component of the Marketing Mechanism to Develop Aquaculture.** *Amazonia Investiga*, 9(26): 498-510, 2020. DOI: 10.34069/AI/2020.26.02.57

PARTELOW, S.; ASIF, F.; BÉNÉ, C.; BUSH, S.; MANLOSA, A.; NAGEL, B.; SCHLÜTER, A.; CHADAG, V. M.; CHOUDHURY, A.; COLE, S. M.; COTTRELL, R. S.; GELCICH, S.; GENTRY, R.; GEPHART, J. A.; GLASER, M.; JOHNSON, T. R.; JONELL, M.; KRAUSE, G.; KUNZMANN, A.; KÜHNHOLD, H.; LITTLE, D. C.; MARSCHKE, M. J.; MIZUTA, D. D.; PARAMITA, A. O.; PIN, N.; SALAYO, N. D.; STENTIFORD, G. D.; STOLL, J.; TROELL, M.; TURCHINI, G. M. **Aquaculture governance: five engagement arenas for sustainability transformation.** *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 65: 101379, 2023. DOI: 10.1016/j.cosust.2023.101379

PEDROZA-FILHO, M. X.; RODRIGUES, A. P. O. & REZENDE, F. P. **Dinâmica da produção de tambaqui e demais peixes redondos no Brasil.** CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. *Boletim Ativos da Aquicultura*, 2(7): 1-5, 2016.

PEÑALOSA-MARTINELL, D.; VERGARA-SOLANA, F. J.; COLMENARES, H. V. **Analysis of the impact of aquaculture subsidies on production, the case of Mexico.** *npj Ocean Sustain*, 4: 20, 2025. DOI: 10.1038/s44183-025-00123-8

PEREIRA, S. A.; KIMPARA, J. M.; VALENTI, W. C. **Sustainability of the seaweed *Hypnea pseudomusciformis* farming in the tropical Southwestern Atlantic.** *Ecological Indicators*, 121: 107101, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.107101

PIEDRAHITA, R. H. **Reducing the potential environmental impact of tank aquaculture effluents through intensification and recirculation.** *Aquaculture*, 226(1): 35-44, 2003. DOI:10.1016/S0044-8486(03)00465-4

PINTO, Y. C.; ALCÂNTARA, A. M. de; AMORIM, F. de O. **Análise de viabilidades técnica e econômica para uma piscicultura familiar integrada à energia solar.** *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente – RAMA*, v. 17, n. Especial, e12247, 2024. DOI: 10.17765/2176-9168.2024v17n.Especial.e12247

PRATIWY, F. M.; CAHYA, M. D.; ANDRIANI, Y. **Digitization of aquaculture: A review.** *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 10(1): 18-22, 2022. DOI: 10.22271/fish.2022.v10.i1a.2623

PRAXEDES, A. A.; SOUZA, R. H. B. de; FILHO, J. V. D.; FREITAS, C de O. **Viabilidade econômica do cultivo de tambaqui (*Colossoma macropomum*) em relação a outras atividades agropecuárias no estado de Rondônia.** In: FILHO, J. V. D.; FREITAS, C. de O.; CAVALI, J. (Org.) *Viabilidade econômica e aspectos produtivos de peixes nativos da Amazônia*. São José dos Pinhais: Brazilian Journals, cap. 2, p. 25-47, 2021. DOI: 10.35587/brj.ed.0000888

PUEPPKE, S. G.; NURTAZIN, S.; OU, W. (2020). **Water and Land as Shared Resources for Agriculture and Aquaculture: Insights from Asia.** *Water*, 12(10): 2787, 2020. DOI: 10.3390/w12102787

PUSPITAWATI, D.; SUSILO, E.; CAHYANDARI, D.; MAHARANI, D. P.; FADLI, M.; LUTFI, M.; M.; ANGGORO, S. A.; LIEMANTO, A. **The design of regulatory reform in aquaculture in Indonesia: opportunities and threats of the implementation of SDGs in fisheries governance.** *Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation - International Journal of the Bioflux Society*, 15(3): 1215-1225, 2022.

PUSZKARSKI, J. & ŚNIADACH, O. **Instruments to implement sustainable aquaculture in the European Union.** *Marine Policy*, 144: 105215, 2022. DOI: 10.1016/j.marpol.2022.105215

QI, Z.; SHI, R.; YU, Z.; HAN, T.; LI, C.; XU, S.; XU, S.; LIANG, Q.; YU, W.; LIN, H.; HUANG, H. **Nutrient release from fish cage aquaculture and mitigation strategies in Daya Bay, southern China.** *Marine Pollution Bulletin*, 146: 399-407, 2019. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.06.079

QUEIROZ, J. F. de & FRIGHETTO, R. T. S. **Aqüicultura e meio ambiente: qualidade de água e boas práticas de manejo (BPMs)**. In: RODRIGUES, G. S.; BUSCHINELLI, C. C. de A.; RODRIGUES, I. A.; NEVES, M. C. M. (Eds.) *Avaliação de impactos ambientais para gestão da APA da Barra do Rio Mamanguape-PB*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, p. 74-87, 2005.

QUIRINO, É. F. da S.; RODRIGUES, C. da S.; SILVA, V. B. da; BARBOSA, E. N. **Qualidade física em rações para aquicultura de Tambaqui (*Colossoma macropomum*): Uma Revisão**. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 7(2): 1-15, 2024. DOI: 10.34188/bjaerv7n2-058

RABELO, L. S. & LIMA, P. V. P. S. **Indicadores de sustentabilidade: a possibilidade da mensuração do desenvolvimento sustentável**. *REDE – Revista Eletrônica do Prodepa*, v. 1, n. 1, p 55-76, 2007.

RADOSAVLJEVIC, S.; VENTURINO, E.; ACOTTO, F.; WANG, Q.; SU, J.; GASPARATOS, A. **Sustainable intensification of small-scale aquaculture systems depends on the local context and characteristics of producers**. *arXiv preprint, arXiv: 2502.18488*, 2025. DOI: 10.48550/arXiv.2502.18488

RAMANATHAN, R.; DUAN, Y.; VALVERDES, J.; RANSBEECK, S. V.; AJMAL, T.; VALVERDES, S. **Using IoT Sensor Technologies to Reduce Waste and Improve Sustainability in Artisanal Fish Farming in Southern Brazil**. *Sustainability*, 15: 2078, 2023. DOI: 10.3390/su15032078

RECTOR, M. E.; FILGUEIRA, R.; BAILEY, M.; WALKER, T. R.; GRANT, J. **Sustainability outcomes of aquaculture eco-certification: Challenges and opportunities**. *Reviews in Aquaculture*, 15(2): 840-852, 2023. DOI: 10.1111/raq.12763

REGUEIRO, L.; NEWTON, R.; SOULA, M.; MÉNDEZ, D.; KOK, B.; LITTLE, D.; PASTRES, R.; JOHANSEN, J. **Opportunities and limitations for the introduction of circular economy principles in EU aquaculture based on the regulatory framework**. *Journal of Industrial Ecology*, 26(6): 2033-2044, 2022. DOI: 10.1111/jiec.13188

REY-VALETTE, H.; CLÉMENT, O.; AUBIN, J.; MATHÉ, S.; CHIA, E.; LEGENDRE, M.; CARUSO, D.; MIKOLASEK, O.; BLANCHETON, J.-P.; SLEMBROUCK, J.; BARUTHIO, A.; RENÉ, F.; LEVANG, P.; MORISSENS, P.; LAZARD, J. *Guide to the co-construction of sustainable development indicators in aquaculture*. Montpellier: Cirad, 2008, 12p.

ROBLES-HERRERA, A. E. **Potential Sustainability Assessment Indicators Toward Sustainable Management for Aquaculture in the Gulf of Nicoya, Costa Rica**. *The International Journal of Sustainability Policy and Practice*, 21(1): 51-75, 2025. DOI: 10.18848/2325-1166/CGP/v21i01/51-75

ROHEIM, C. A.; SUDHAKARAN, P. O.; DURHAM, C. A. **Certification of Shrimp and Salmon for Best Aquaculture Practices: Assessing Consumer Preferences in Rhode Island.** *Aquaculture Economics & Management*, 16(3): 266-286, 2012. DOI: 10.1080/13657305.2012.713075

ROSS, L.; PALACIOS, C. A. M.; MORALES, E. J. **Developing native fish species for aquaculture: the interacting demands of biodiversity, sustainable aquaculture and livelihoods.** *Aquaculture Research*, 39(7): 675-683, 2008. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2008.01920.x

ROSSIGNOL, V. M.; MUELBET, B.; STOFFER, J.; SILVA, L. da C. e. **Viabilidade de piscicultura orgânica em uma unidade de produção familiar em Laranjeiras do Sul, Paraná.** *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 19(2): 64-71, 2024. DOI: 10.18378/rvads.v19i2.10008

ROTH, E.; ROSENTHAL, H.; BURBRIDGE, P. **A discussion of the use of the sustainability index: ‘ecological footprint’ for aquaculture production.** *Aquatic Living Resources*, 13(6): 461-469, 2000. DOI: 10.1016/S0990-7440(00)01071-8

ROVERSI, F.; van MAANEN, B.; COLONNA ROSMAN, P. C.; NEVES, C. F.; SCUDELARI, A. C. **Numerical Modeling Evaluation of the Impacts of Shrimp Farming Operations on Long-term Coastal Lagoon Morphodynamics.** *Estuaries and Coasts*, 43: 1853-1872, 2020. DOI: 10.1007/s12237-020-00743-y

ROY, S. M.; JAYRAJ, P.; MACHAVARAM, R.; PAREEK, C. M.; MAL, B. C. **Diversified aeration facilities for effective aquaculture systems – a comprehensive review.** *Aquaculture International*, 29: 1181-1217, 2021. DOI: 10.1007/s10499-021-00685-7

SAMPAIO, F. G.; LASEKANN, M. E.; LUIZ, A. J. B.; NEVES, M. C.; FRASCÁ-SCOVO, C. M. D.; RODRIGUES, G. S. **Monitoramento e gestão ambiental da piscicultura.** *Informe Agropecuário*, v. 34, n. 272, p. 1-11, 2013.

SAMPANTAMIT, T.; HO, L.; LCHAT, C.; SUTUMMAWONG, N.; SORGELOOS, P.; GOETHALS, P. **Aquaculture Production and Its Environmental Sustainability in Thailand: Challenges and Potential Solutions.** *Sustainability*, 12(5): 2010, 2020. DOI:10.3390/su12052010

SAMUEL-FITWI, B.; WUERTZ, S.; SCHROEDER, J. P.; SCHULZ, C. **Sustainability assessment tools to support aquaculture development.** *Journal of Cleaner Production*, 32: 183-192, 2012. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.03.037

SANKHLA, M. S.; KUMAR, R.; GULLIYA, S. **New and Advanced Technologies in Aquaculture to Support Environmentally Sustainable Development.** In: SINGH, J.; VYAS, A.; WANG, S.; PRASAD, R. (Eds.) *Microbial Biotechnology: Basic Research and Applications*. Springer Nature, pp. 249-263, 2020. DOI: 10.1007/978-981-15-2817-0_11

SANTOS, A. A. O.; AUBIN, J.; CORSON, M. S.; VALENTI, W. C.; CAMARGO, A. F. M. **Comparing environmental impacts of native and introduced freshwater prawn farming in Brazil and the influence of better effluent management using LCA.** *Aquaculture*, 444: 151-159, 2015. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2015.03.006

SAPKOTA, A.; SAPKOTA, A. R.; KUCHARSKI, M.; BURKE, J.; MCKENZIE, S.; WALKER, P.; LAWRENCE, R. **Aquaculture practices and potential human health risks: Current knowledge and future priorities.** *Environment International*, 34: 1215-1226, 2008. DOI: 10.1016/j.envint.2008.04.009

SEGUNDO, D.; MOTA, M.; VIEIRA, A. **Aerador de Piscicultura alimentado com Fonte de Energia Solar.** *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 4, p. 01-14, 2015.

SHAHZAD, M. M.; BUTT, W.; HUSSAIN, Z.; REHMAN, R. A.; KHAN, M. K. A.; HUSSAIN, M.; NOUREEN, A.; BASHIR, S.; TARIQ, M.; RAFIQUE, M. T.; KHALID, F.; RASHID, H.; AKHTAR, K.; TAHIR, L. **Use of multi-strain probiotics in linseed meal based diet for *Labeo rohita* fingerlings.** *Brazilian Journal of Biology*, 83: e246727, 2023. DOI: 10.1590/1519-6984.246727

SHARMA, K. K.; MOHAPATRA, B. C.; DAS, P. C.; SARKAR, B. CHAND, S. **Water budgets for freshwater aquaculture ponds with reference to effluent volume.** *Agricultural Sciences*, 4(8): 353-359, 2013. DOI: 10.4236/as.2013.48051

SHARMA, A.; PRUSTY, S.; RATHOD, R.; ARTHI, R.; WATTERSON, A.; CAVALLI, L. S. **Occupational hazards of Indian shrimp farm workers.** *All Life*, 16(1): 2225762, 2023. DOI: 10.1080/26895293.2023.2225762

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E.; ROMEIRO, A. **Índices versus indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países.** *Ambiente & Sociedade*, v. 10, n. 2, p. 137-148, 2007. DOI: 10.1590/S1414-753X2007000200009

SILVA, L. de J. de S.; PINHEIRO, J. O. C.; CRESCÊNCIO, R.; CARNEIRO, E. de F.; PEREIRA, B. P.; BRITO, V. F. S. de. **Tecnologia e desenvolvimento rural: Aspectos do cultivo de tambaqui no município de Rio Preto da Eva, AM.** *Revista Terceira Margem Amazonia*, v. 3, n. 10, p. 170-196, 2018.

SILVA, A. C. C.; BARROS, A. F. de; MENDONÇA, F. M. F.; GAMA, K. F. da S.; MARCOS, R.; POVH, J. A.; FORNARI, D. C.; HOSHIBAM, A.; ABREU, J. S. de. **Performance and economic viability of tambaqui, *Colossoma macropomum*, selectively bred for weight gain.** *Acta Amazonica*, 50(2): 108-114, 2020. DOI: 10.1590/1809-4392201901992

SILVA, C. R.; GOMES, L. C.; BRANDÃO, F. R. **Effect of feeding rate and frequency on tambaqui (*Colossoma macropomum*) growth, production and feeding costs during the first growth phase in cages.** *Aquaculture*, 264(1-4): 135-139, 2007. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2006.12.007

SILVA, A. M.; GOMES, L. de C.; ROUBACH, R. **Growth, yield, water and effluent quality in ponds with different management during tambaqui juvenile production.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(5): 733-740, 2007. DOI:10.1590/S0100-204X2007000500017

SILVA-GOMES, A. L.; COELHO-FILHO, J. G.; VIANA-SILVA, W.; BRAGA-OLIVEIRA, M. I.; BERNARDINO, G.; COSTA, J. I. **The impact of *Neoechinorhynchus buttnerae* (Golvan, 1956) (Eoacanthocephala: Neochinorhynchidae) outbreaks on productive and economic performance of the tambaqui *Colossoma macropomum* (Cuvier, 1818), reared in ponds.** *Latin American Journal of Aquatic Research*, 45(2): 496-500, 2017. DOI: 10.3856/vol45-issue2-fulltext-25

SILVEIRA, U. S. da; LOGATO, P. V. R.; PONTES, E. da C. **Fatores estressantes em peixes.** *Revista Eletrônica Nutritime*, v. 6, n. 4, p. 1001-1017, 2009.

SOTOMAYOR, V. H. & MATA, J. H. M. **Sustainability in aquaculture in Mexico, Chile, and Colombia, towards internationalization.** *International Journal of Science Academic Research*, 4(9): 6220-6225, 2023.

SOUSA, R. G. C.; MERELES, M. de A.; SIQUEIRA-SOUZA, F. K.; HURD, L. E.; FREITAS, C. E. de C. **Small dams for aquaculture negatively impact fish diversity in Amazonian streams.** *Aquaculture Environment Interactions*, 10: 89-98, 2018. DOI: 10.3354/aei00253
 SOUZA, R. A. L. de; TAKATA, R.; SOUZA, A. da S. L. de; SILVA JÚNIOR, M. L. da; SILVA, F. N. L. da. **Caracterização de sedimentos em viveiros de piscicultura na Amazônia Oriental, Brasil.** *Research, Society and Development*, 10(1): e41710111815, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i1.11815

SOUSA, A. S. C.; NETO, E. B.; LEITE, M. A. **Piscicultura e o custo de produção de peixe redondo em tanque escavado.** *Qualia: a ciência em movimento*. v. 2, n. 1, p. 01-25, 2016b.

SOUZA, M. A. de; VIDOTTI, R. M.; OLIVERA NETO, A. L. de; COLOMBANO, N. C. **Licenciamento ambiental e outorga do direito de uso da água para a atividade aquícola: Há integração entre os instrumentos?** *Boletim do Instituto de Pesca*, 32(2): 213-219, 2006.

STENTIFORD, G. D.; BATEMAN, I. J.; HINCHLIFFE, S. J.; HINCHLIFFE, S. J.; BASS, D.; HARTNELL, R.; SANTOS, E. M.; DEVLIN, M. J.; FEIST, S. W.; TAYLOR, N. G. H.; VERNER-JEFFREYS, D. W.; AERLE, R. van; PEELER, E. J.; HIGMAN, W. A.; SMITH, L.; BAINES, R.; BEHRINGER, D. C.; KATSIADAKI, I.; FROEHLICH, H. E.; TYLER, C. R. **Sustainable aquaculture through the One Health lens.** *Nature Food*, 1: 468-474, 2020. DOI: 10.1038/s43016-020-0127-5

SYMEONIDOU, S. & MENTE, E. **Water Consumption and the Water Footprint in Aquaculture: A Review.** *Water*, 16(23): 3376, 2024. DOI: 10.3390/w16233376

TACON, A. G. J. & METIAN, M. **Aquaculture feed and food safety: The role of FAO and Codex Alimentarius.** *New York Academy of Sciences*, 1140: 50-59, 2008. DOI: 10.1196/annals.1454.003

_____. **Feed matters: Satisfying the feed demand of aquaculture.** *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(1): 1-10, 2015. DOI: 10.1080/23308249.2014.987209

TAVARES-DIAS, M. & FUGIMOTO, R. Y. **Recomendações para Melhorias do Manejo Sanitário em Pisciculturas do Estado do Amapá.** *Comunicado Técnico 96*. Macapá: Embrapa Tabuleiros Costeiros, Macapá, AP, 2014, 4p.

TAVECHIO, W. L. G.; GUIDELLI, G.; PORTZ, L. **Alternativas para a prevenção e o controle de patógenos em piscicultura.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 35(2): 335-341, 2009.

TIAGO, G. G. *Aquicultura, meio Ambiente e legislação*. São Paulo: Annablume, 2002, 162p.

TIAGO, G. G. & GIANESELLA, S. M. F. **O Uso da Água pela Aqüicultura: Estratégias e Ferramentas de Implementação de Gestão.** *Boletim do Instituto de Pesca*, 29(1): 1-7, 2003.

TOUFIQUE, K. A. & BELTON, B. **Is Aquaculture Pro-Poor? Empirical Evidence of Impacts on Fish Consumption in Bangladesh.** *World Development*, 64: 609-620, 2014. DOI: 10.1016/j.worlddev.2014.06.035

TRAMARIN, T. C. & RUARO, R. **Diagnóstico da aplicação do licenciamento ambiental para empreendimentos de piscicultura em um município do Mato Grosso do Sul.** *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, v. 10, n. 4, p. 1225-1245, 2017. DOI: 10.17765/2176-9168.2017v10n4p1225-1245

TRASSI, M. C.; PIANA, P. A.; CUNICO, A. M. **Sustainability of aquaculture activity in the western region of Paraná, Brazil.** *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 76(5): e13219, 2024. DOI: 10.1590/1678-4162-13219

TROELL, M.; COSTA-PIERCE, B.; STEAD, S.; COTTRELL, R. S.; BRUGERE, C.; FARMERY, A. K.; LITTLE, D. C.; STRAND, Å.; PULLIN, R.; SOTO, D.; BEVERIDGE, M.; SALIE, K.; DRESNER, J.; MORAES-VALENTI, P.; BLANCHARD, J.; JAMES, P.; YOSSA, R.; ALLISON, E.; DEVANEY, C.; BARG, U. **Perspectives on aquaculture's contribution to the Sustainable Development Goals for improved human and planetary health.** *Journal of the World Aquaculture Society*, 54(2): 251-342, 2023. DOI: 10.1111/jwas.12946

TUCKER, C. S.; POTE, J. W.; WAX, C. L.; BROWN, T. W. **Improving water-use efficiency for Ictalurid catfish pond aquaculture in Northwest Mississippi, USA.** *Aquaculture Research*, 48(2): 447-458, 2017. DOI: 10.1002/9781118857915.ch6

TURCIO, A. E. & PAPENBROCK, J. **Sustainable Treatment of Aquaculture Effluents – What Can We Learn from the Past for the Future?** *Sustainability*, 6(2): 836-856, 2014. DOI: 10.3390/su6020836

TURNER, K.; RABINOWITZ, P.; ANDERSON, N.; COHEN, M.; PAPPALIOANOU, M. **Occupational injuries of aquaculture workers: Washington State.** *Journal of Agromedicine*, 23 (4): 336-346, 2018. DOI: 10.1080/1059924X.2018.1501452

ULLAH, I. & KIM, D. H. **An optimization scheme for water pump control in smart fish farm with efficient energy consumption.** *Processes*, 6(6): 65, 2018. DOI: 10.3390/pr6060065

VAL, A. L. & OLIVEIRA, A. M. de. **Colossoma macropomum – A tropical fish model for biology and aquaculture.** *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 335(9-10), 761-770, 2021. DOI: 10.1002/jez.2536

VALENTI, W. C. **A aquicultura Brasileira é sustentável?** In: *Seminário Internacional de Aquicultura, Maricultura e Pesca*. Florianópolis: AQUAFAIR, 2008, 11p. Disponível em: <www.avesui.com/anais>. Acesso em: 20 de janeiro de 2025.

VALENTI, W. C. **Measuring sustainability in aquaculture systems.** *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 26: 303, 2013. DOI: 10.17533/udea.rccp.324843

VALENTI, W. C.; BARROS, H. P.; MORAES-VALENTI, P.; BUENO, G. W.; CAVALLI, R. O. **Aquaculture in Brazil: Past, present and future.** *Aquaculture Reports*, 19: 100611, 2021. DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100611

VALENTI, W. C.; KIMPARA, J. M.; PRETO, B. L. **Measuring Aquaculture Sustainability.** *World Aquaculture*, 42(3): 26-30, 2011.

VALENTI, W. C.; KIMPARA, J. M.; PRETO, B. de L.; MORAES-VALENTI, P. **Indicators of sustainability to assess aquaculture systems.** *Ecological Indicators*, 88: 402-413, 2018. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.12.068

VALENTI, W. C. & MORAES-VALENTI, P. **Production chain of aquaculture.** *World Aquaculture*, 41(4): 54-58, 2010.

VERDEGEM, M. C. J. **Nutrient discharge from aquaculture operations in function of system design and production environment.** *Reviews in Aquaculture*, 5(3): 158-171, 2013. DOI: 10.1111/raq.12011

VERDEGEM, M. C. J.; BOSMA, R. H.; VERRETH, J. A. J. **Reducing Water Use for Animal Production through Aquaculture.** *International Journal of Water Resources Development*, 22(1): 101-113, 2006. DOI: 10.1080/07900620500405544

VILELA, M. C.; ARAÚJO, K. D. de; MACHADO, L. de S.; MACHADO, M. R. R. **Análise da viabilidade econômico-financeira de projeto de piscicultura em tanques escavados.** *Custos e @gronegocio online*, v. 9, n. 3, p. 154-173, 2013.

VINCE, J. & HAWARD, M. **Hybrid governance in aquaculture: Certification schemes and third party accreditation.** *Aquaculture*, 507: 322-328, 2019. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2019.04.041

VOLPE, J. P.; GEE, J. L. M.; ETHIER, V. A.; BECK, M.; WILSON, A. J.; STONE, J. M. S. **Global Aquaculture Performance Index (GAPI): The First Global Environmental Assessment of Marine Fish Farming.** *Sustainability*, 5(9): 3976-3991, 2013. DOI: 10.3390/su5093976

WAITE, R, BEVERIDGE M, BRUMMETT R, CASTINE S, CHAIYAWANNAKARN N, KAUSHIK S, MUNGGKUNG R, NAWAPAKPILAI S. *Improving Productivity and Environmental Performance of Aquaculture: Creating a sustainable food future.* Working Paper. Washington DC, USA: World Resources Institute, 2014, 59p.

WANG, Q.; ROSSIGNOLI, C. M.; DOMPREH, E. B.; SU, J.; ALI, S. A.; KARIM, M.; GASPARATO, A. **Sustainable intensification of small-scale aquaculture production in Myanmar through diversification and better management practices.** *Environmental Research Letters*, 18(1): 015002, 2023. DOI: 10.1088/1748-9326/acab16

WEERATUNGE, N.; SNYDER, K. A.; SZE, C. P. **Gleaner, fisher, trader, processor: understanding gendered employment in fisheries and aquaculture.** *Fish and Fisheries*, 11: 405-420, 2010. DOI: 10.1111/j.1467-2979.2010.00368.x

WEITZMAN, J. & BAILEY, M. **Perceptions of aquaculture ecolabels: A multi-stakeholder approach in Nova Scotia, Canada.** *Marine Policy*, 87: 12-22, 2018. DOI: 10.1016/j.marpol.2017.09.037

WILFART, A.; PRUDHOMME, J.; BLANCHETON, J.-P.; AUBIN, J. **LCA and emergy accounting of aquaculture systems: Towards ecological intensification.** *Journal of Environmental Management*, 121: 96-109, 2013. DOI: 10.1016/j.jenvman.2013.01.031

XU, C.; SU, G.; BROSSE, S.; ZHAO, K.; ZHANG, M.; XU, J. **Social benefits and environmental performance of aquaculture need to improve worldwide.** *Communications Earth & Environment*, 5: 698, 2024. DOI: 10.1038/s43247-024-01790-0

YI, S. **Determinants of Consumers' Purchasing Behavior for Certified Aquaculture Products in South Korea.** *Sustainability*, 11(14): 3840, 2019. DOI: 10.3390/su11143840

YOO, K. H. & BOYD, C. E. *Hydrology and water supply for pond aquaculture.* Springer Science & Business Media, 2012, 505p.

YOUNG, N.; BRATTLAND, C.; DIGIOVANNI, C.; HERSOUG, B.; JOHNSEN, J. P.; KARLSEN, K. M.; KVALVIK, I.; OLOFSSON, E.; SIMONSEN, K.; SOLÅS, A.-M.; THORARENSEN, H. **Limitations to growth: Social-ecological challenges to aquaculture development in five wealthy nations.** *Marine Policy*, 104: 216-224, 2019. DOI: 10.1016/j.marpol.2019.02.022

YUSOFF, F. M.; UMI, W. A. D.; RAMLI, N. M.; HARUN, R. **Water quality management in aquaculture.** *Cambridge Prisms: Water*, 2: e8, 2024. DOI: 10.1017/wat.2024.6

XUAN, B. B. **Consumer preference for eco-labelled aquaculture products in Vietnam.** *Aquaculture*, 532(4): 736111, 2021. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.736111

ZACARDI, D. M.; LIMA, M. A. S. de; NASCIMENTO, M. M.; ZANETTI, C. R. M. **Caracterização socioeconômica e produtiva da aquicultura desenvolvida em Santarém, Pará.** *Acta of Fisheries and Aquatic Resource*, 5(3): 102-112, 2017. DOI: 10.2312/ActaFish.2017.5.3.102-112

ZANIBONI-FILHO, E.; PEDRON, J. dos S.; RIBOLLI, J. **Opportunities and challenges for fish culture in Brazilian reservoirs: a review.** *Acta Limnologica Brasiliensia*, 30: e302, 2018. DOI: 10.1590/S2179-975X12617

ZHENG, H.; MU, H.; ZHAO, XI. **Evaluating the demand for aquaculture insurance: An investigation of fish farmers' willingness to pay in central coastal areas in China.** *Marine Policy*, 96: 152-162, 2018. DOI: 10.1016/j.marpol.2018.08.021

APÊNDICES

APÊNDICE A – Modelo do formulário de entrevista utilizado para a dimensão ambiental.



Universidade Federal do Amazonas - UFAM
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros - PPGCARP



PERFIL DE SUSTENTABILIDADE DA PISCICULTURA DO TAMBAQUI (*Colossoma macropomum*) SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO E INTENSIFICAÇÃO

DADOS DO PROPRIETÁRIO															
Nome do proprietário:					Idade:		Contato:		Sexo: <input type="radio"/> M <input type="radio"/> F						
Nome da propriedade/empreendimento:					Coordenadas geográficas:					Município:					
DADOS DO EMPREENDIMENTO															
Dimensões	Atributos	Critérios	Item	Indicadores	Origem		Coleta de dados			Fase de coleta					
					Piscicultura	Funcionário				Início	Méio	Fim			
AMBIENTAL	Uso de recursos naturais	Quantidade de recursos consumidos	1.	Espaço (E)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.1. Situação de macrozoneamento: Área da propriedade: _____ (ha/m²) Área de Uso Múltiplo: _____ (ha/m²) Área de Reserva Legal: _____ (ha/m²) Área de Preservação Permanente: _____ (ha/m²)								
			2.	Água (A)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.2. Tipos de estruturas de criação: <input type="checkbox"/> Viveiro de barragem/Açude <input type="checkbox"/> Viveiros escavados/Semi-escavados <input type="checkbox"/> Tanques-rede/gaiolas <input type="checkbox"/> Canal-de-igarapé/Raceway <input type="checkbox"/> Alvenaria/geomembrana								
			3.	Energia (En)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.3. Área útil: _____ (ha/m²)		1.4. Área alagada: _____ (ha/m²)		1.5. Número de dispositivos: _____		1.6. Tamanho médio dos dispositivos: _____ (ha/m²)		
							2.1. Forma de abastecimento: <input type="checkbox"/> Bomba <input type="checkbox"/> Gravidade		2.2. Tipo de estrutura: <input type="checkbox"/> Canais <input type="checkbox"/> Tubos		2.3. Tipo de sistema de distribuição: <input type="checkbox"/> Caixa de distribuição <input type="checkbox"/> Registro <input type="checkbox"/> Monge <input type="checkbox"/> Cano-cotovelo <input type="checkbox"/> Vertedouro		2.4. Tipo de estrutura de drenagem:		
			2.5. Características do corpo hídrico: <input type="checkbox"/> Rio/igarapé/correio/igarapé <input type="checkbox"/> Poço tubular/mina		2.6. Quantidade de água consumida: <input type="checkbox"/> Bombeamento <input type="checkbox"/> Evaporação/infiltração		Vazão (m³/dia): _____		Vazão (m³/dia): _____		Quantidade (m³/dia): _____		Quantidade (m³/dia): _____		
			3.1. Consumo de energia:												
			Equipamentos												
			Insuaços												
			Trab.												
			4.1. Sistema de produção: <input type="checkbox"/> Extensivo <input type="checkbox"/> Semi-intensivo <input type="checkbox"/> Intensivo										4.2. Espécies utilizadas: <input type="checkbox"/> Tambaqui <input type="checkbox"/> Matrinxã <input type="checkbox"/> Pirarucu <input type="checkbox"/> Outros		4.3. Peso: Inicial (alevino): _____ kg. Final (peixe): _____ kg.
4.4. Objetivo da criação: <input type="checkbox"/> Engorda <input type="checkbox"/> Alevinagem/recría <input type="checkbox"/> Pesque-pague <input type="checkbox"/> Outros:										4.5. Finalidade da criação: <input type="checkbox"/> Comercialização <input type="checkbox"/> Subsistência <input type="checkbox"/> Lazer <input type="checkbox"/> Outros:					
4.6. Produtividade: _____ kg/(ha/m²)/ciclo.										4.7. Produção: _____ kg/_____/ciclos.		4.8. Período de criação: _____ a _____/meses/dias.			
4.10. Quant. de peixes (inicial): _____										4.11. Quant. de peixes (final): _____		4.12. Mortalidade: _____ peixes.			
4.13. Sobrevivência: _____ %															
AMBIENTAL	Lançamento de efluentes	Comportamento de efluentes	5.	Nitrogênio (N)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5.1. Comportamento de nitrogênio:								
			Entrada			Tanques			Saída						
			1. Coleta: _____ mg/l			1. Coleta: _____ mg/l			1. Coleta: _____ mg/l						
			2. Abastec.:			2. Tanque 01:			2. Tanque 02:						
			3. Data: _____ mg/l			3. Data: _____ mg/l			3. Data: _____ mg/l						
			6.1. Comportamento de fósforo:			Tanques			Saída						
			1. Coleta: _____ mg/l			1. Coleta: _____ mg/l			1. Coleta: _____ mg/l						
			2. Abastec.:			2. Tanque 01:			2. Tanque 02:						
			3. Data: _____ mg/l			3. Data: _____ mg/l			3. Data: _____ mg/l						
			7.1. Comportamento de sólidos em suspensão:												
Entrada			Tanques			Saída									
1. Coleta: _____ mg/l			1. Coleta: _____ mg/l			1. Coleta: _____ mg/l									
2. Abastec.:			2. Tanque 01:			2. Tanque 02:									
3. Data: _____ mg/l			3. Data: _____ mg/l			3. Data: _____ mg/l									
AMBIENTAL	Lançamento de efluentes	Comportamento de efluentes	8.	Sedimentos (S)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.1. Comportamento de sedimentos:								
			Tanque 01			Tanque 02			Tanque 03						
			1. Coleta: _____ mg/l			1. Coleta: _____ mg/l			1. Coleta: _____ mg/l						
			2. Coleta: _____ mg/l			2. Coleta: _____ mg/l			2. Coleta: _____ mg/l						
			3. Coleta: _____ mg/l			3. Coleta: _____ mg/l			3. Coleta: _____ mg/l						
			4. Coleta: _____ mg/l			4. Coleta: _____ mg/l			4. Coleta: _____ mg/l						
			9.1. Grau de Vulnerabilidade Ecológica:												
			1. Não utiliz. de espécie alóctone/exótica? <input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não										4. Não identif. da pres. de patógenos nos animais? <input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não		
			2. Não utiliz. de espécies genet. modificadas ou híbridas? <input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não										5. Não utiliz. de prod. químicos no processo produtivo? <input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não		
			3. Não utiliz. de sist. de criaç. aberto ou inser. no corpo hídrico? <input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não										6. Não aplic. de medicam. e outros fármacos na criação? <input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não		
10.1. Grau de Adequação Ambiental:															
1. Exec. de med. para min. do imp. visual do empreendimento? <input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não										4. N. oc. de mult. e/ou sang. por n. cont. amb. caus. pela ativ.? <input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não					
2. Implem. de sist. de trat. de efluentes na estr. de criação? <input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não										5. Exist. de Prog. de Gerenc. de Resid. Sól. (PGRS)? <input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não					
3. Atend. aos padrões de qual. de água estab. na legislação? <input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não										6. Adop. de fontes de energia renováv. no sist. de produção? <input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não					

APÊNDICE B – Modelo do formulário de entrevista utilizado para a dimensão econômica.



UFAM

Universidade Federal do Amazonas - UFAM
Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Recursos Pesqueiros - PPGCARP



PPGCARP
 Programa de Pós-graduação em
 Ciência Animal e Recursos Pesqueiros

DADOS DO EMPREENDIMENTO						Fase de coleta																																																					
Determinação	Atributos	Critérios	Item	Indicadores	Origem	Coleta de dados				Início	Médio	Fim																																															
						Piscicultura	Piscicultor	Funcionário																																																			
ECONÔMICA	Eficiência econômica	Desempenho econômico	1.	Lucro (L)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.1. Custo de produção: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Item</th> <th>Valor unitário</th> <th>Item</th> <th>Valor unitário</th> <th>Item</th> <th>Valor unitário</th> <th>Item</th> <th>Valor unitário</th> </tr> <tr> <td>Alevinos:</td> <td>R\$/mil.</td> <td>Corretivo:</td> <td>R\$/kg</td> <td>Combustível:</td> <td>R\$/litro</td> <td>Alevinos:</td> <td>R\$/mil.</td> </tr> <tr> <td>Ração:</td> <td>R\$/kg</td> <td>Energia elétrica:</td> <td>R\$/Kw</td> <td>Mão-de-obra:</td> <td>R\$/Sal. min.</td> <td>Pescado:</td> <td>R\$/kg</td> </tr> </table>				Item	Valor unitário	Item	Valor unitário	Item	Valor unitário	Item	Valor unitário	Alevinos:	R\$/mil.	Corretivo:	R\$/kg	Combustível:	R\$/litro	Alevinos:	R\$/mil.	Ração:	R\$/kg	Energia elétrica:	R\$/Kw	Mão-de-obra:	R\$/Sal. min.	Pescado:	R\$/kg																									
			Item	Valor unitário	Item	Valor unitário	Item	Valor unitário	Item	Valor unitário																																																	
			Alevinos:	R\$/mil.	Corretivo:	R\$/kg	Combustível:	R\$/litro	Alevinos:	R\$/mil.																																																	
			Ração:	R\$/kg	Energia elétrica:	R\$/Kw	Mão-de-obra:	R\$/Sal. min.	Pescado:	R\$/kg																																																	
			2.	Relação Receita-Investimento (RRI)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.2. Receita: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Item</th> <th>Valor unitário</th> <th>Item</th> <th>Valor unitário</th> </tr> <tr> <td>Alevinos:</td> <td>R\$/mil.</td> <td>Pescado:</td> <td>R\$/kg</td> </tr> </table>				Item	Valor unitário	Item	Valor unitário	Alevinos:	R\$/mil.	Pescado:	R\$/kg																																									
			Item	Valor unitário	Item	Valor unitário																																																					
	Alevinos:	R\$/mil.	Pescado:	R\$/kg																																																							
	3.	Relação Benefício-Custo (RBC)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Investimentos para implantação do empreendimento <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Item</th> <th>Descrição</th> <th>Especificação</th> <th>Unid.</th> <th>Quant.</th> <th>Val. un.</th> <th>Val. tot.</th> <th>Resultado de análise</th> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2.2. RRI:</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2.3. RBC:</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2.4. VPL:</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2.5. TIR:</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>2.6. PRC:</td> </tr> </table>				Item	Descrição	Especificação	Unid.	Quant.	Val. un.	Val. tot.	Resultado de análise								2.2. RRI:								2.3. RBC:								2.4. VPL:								2.5. TIR:								2.6. PRC:			
	Item	Descrição	Especificação	Unid.	Quant.	Val. un.	Val. tot.	Resultado de análise																																																			
								2.2. RRI:																																																			
								2.3. RBC:																																																			
								2.4. VPL:																																																			
							2.5. TIR:																																																				
							2.6. PRC:																																																				
4.	Valor Presente Líquido (VPL)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Confecção da planilha de investimentos para obtenção dos resultados																																																							
5.	Taxa Interna de Retorno (TIR)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Viv. e capt.																																																							
6.	Relação de Recuperação do Capital (PRC)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Máq. e equip. Edif. e benfei.																																																							
Experiência na atividade	Experiência na atividade	Tempo de Experiência na Atividade (EA)	7.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.1. Experiência: <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Item</th> <th rowspan="2">Nome do empreendimento</th> <th colspan="2">Dados do imóvel</th> <th colspan="2">Dados da piscicultura</th> </tr> <tr> <th>Ano de aquisição</th> <th>Tempo de propriedade</th> <th>Ano de início</th> <th>Tempo de atividade</th> </tr> <tr> <td>1.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				Item	Nome do empreendimento	Dados do imóvel		Dados da piscicultura		Ano de aquisição	Tempo de propriedade	Ano de início	Tempo de atividade	1.						2.						3.																										
			Item	Nome do empreendimento	Dados do imóvel		Dados da piscicultura																																																				
Ano de aquisição	Tempo de propriedade	Ano de início			Tempo de atividade																																																						
1.																																																											
2.																																																											
3.																																																											
Processo e capacidade de gerenciamento do negócio	Processo e capacidade de gerenciamento do negócio	Capacidade de Gerenciamento (CG)	8.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.1. Qualificação técnica e/ou administrativa: 1. Grau de instrução do proprietário? _____ 3. Participação do proprietário em curso de capacitação? _____ 2. Carga-horária do maior nível de instrução? _____ 4. Carga-horária do maior nível de capacitação? _____ 8.2. Estudo de mercado e planejamento: 1. Realiza organ. e planej. de proc. prod. do empreend.? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 3. Realiza cont. de custos financ. no empreend.? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 2. Possui estud. de viabil. financ. do empreend.? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 4. Possui estratæg. de comerc. e distrib. da produç.? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 8.3. Dedicção de tempo para o negócio: 1. A piscic. é a únic. ativid. desenv. na propriedade? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 5. Quantidade de tempo dedicado à atividade? _____ 2. A piscic. é a princip. ativid. desenv. na propriedade? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 6. Quantidade de tempo dedicado à outras atividades? _____ 3. A piscic. é a únic. ocupação e fonte de renda? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 7. Valor da renda familiar obtido com a piscicultura? _____ 4. A piscic. é a princip. ocupação e fonte de renda? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 8. Valor da renda familiar obtido com outras atividades? _____																																																				
			Taxa de risco	Segurança legal e institucional	Segurança Institucional (SI)	9.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	9.1. Localização do empreendimento em áreas restritas/proibidas: <input type="checkbox"/> Ambientais negativas (enchent., deslizam., poluiç., etc.) <input type="checkbox"/> Proteção ambiental (TIs, UCs, APA's, etc.) <input type="checkbox"/> Infraestrutura (aeroporto, estradas, etc.) 9.2. Manutenção na estabilidade de leis: 1. Direito de uso dos rec. ambientais para a atividade? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 4. Fortal. da pesq. e/ou facil. na divulg. de informação? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 2. Estím. à aplic. de melhorias no proc. produtivo? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 5. Consolid. das ativ. primárias e do agronegócio? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 3. Desburoc. no proc. de obt. de licenças ambientais? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 6. Exec. de proc. admin. de financ., regul. e fiscaliz.? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 9.3. Cumprimento de requisitos para a regularização do empreendimento: <input type="checkbox"/> Cadastro Ambiental Rural - CAR <input type="checkbox"/> Licença Ambiental <input type="checkbox"/> Outorga (recursos hídricos) <input type="checkbox"/> Cadastro Técnico Federal - CTF <input type="checkbox"/> Outros: _____																																																	
Uso de métodos de inovação na produção	Métodos de Inovação na Produção (IP)	10.					<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.1. É realiz. divers. na produç. no empreend.? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 10.2. É aplicad. assist. técnica no empreend.? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 10.3. É utiliz. mão-de-obra qualif. no empreend.? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 10.4. Aplicação de Boas Práticas de Manejo (BPM's): <input type="checkbox"/> Prep. dos tanques (adub. e cal.) <input type="checkbox"/> Regist. da orig. e qualid. de alevinos <input type="checkbox"/> Povoamento (aclimatação) <input type="checkbox"/> Utiliz. de ração industrializada <input type="checkbox"/> Cont. de qual. do alim. (avaliações) <input type="checkbox"/> Forn. de alim. (per., freq., hor., etc.) <input type="checkbox"/> Biomet. para ajuste no man. alimentar <input type="checkbox"/> Contr. de dens. de estoc. (repicag.) <input type="checkbox"/> Análises de qualidade de água <input type="checkbox"/> Controle profilático/sanitário <input type="checkbox"/> Mecanismos contra fuga de animais <input type="checkbox"/> Outros: _____ 10.5. Infraestrutura para produção de alevinos: <input type="checkbox"/> Infraestrutura e mão-de-obra <input type="checkbox"/> BPM's reproduz. (indução e desova) <input type="checkbox"/> Med. Prevent. no cont. de pragas <input type="checkbox"/> Exec. de diagnóstico (profissional) <input type="checkbox"/> Manejo reprodutivo (protocolos) <input type="checkbox"/> Padroniz. e transporte adequado <input type="checkbox"/> Invest. de doenças (exames) <input type="checkbox"/> Realização de tratamento 10.6. Sistema de controle de patógenos: <input type="checkbox"/> Proced. de manejo preventivo (escape) <input type="checkbox"/> Uso de equipamentos adequados <input type="checkbox"/> Exist. de protoc. p/ admin. acidentes <input type="checkbox"/> Exist. de plano de compensação 10.7. Mecanismos de controle da propagação de espécies alóctones/exóticas: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não																																																		
		Segurança física em relação à prevenção de riscos	Mecanismos de Prevenção de Riscos (PR)	11.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.8. Uso de alimentação adequada? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 10.9. Contr. de aquisic. de insumos? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 10.10. Incremento na produtividade? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 10.11. Tecnol. p/ agr. valor ao pesc.? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 11.1. Prát. da ativ. em baixo adens.? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 11.2. Emp. de equip. de segurança? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 11.3. Pouca prox. c/ outras fazendas? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 11.4. Emp. de equip. de contr. amb.? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 11.5. Uso de sist. de rastream.? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 11.6. Uso de plan. de man. de equip.? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 11.7. Uso de sist. de vigil. e segur.? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 11.8. Exist. de seguro contra danos? <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não																																																			
Relações com o mercado	Relações de Mercado (RM)			12.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	12.1. Mecanismos de financiam. no negócio: <input type="checkbox"/> Próprio <input type="checkbox"/> Financiamento <input type="checkbox"/> Misto <input type="checkbox"/> Não sabe 12.2. Identificação de posse do imóvel: <input type="checkbox"/> Próprio <input type="checkbox"/> Terceiros <input type="checkbox"/> Misto <input type="checkbox"/> Não sabe 12.3. Particip. do propr. em Organiz. Associativas: <input type="checkbox"/> Associação <input type="checkbox"/> Cooperativa <input type="checkbox"/> Sindicato <input type="checkbox"/> Outros																																																			
						12.4. Diversificação de mercado pela empresa: <input type="checkbox"/> Único cliente <input type="checkbox"/> Múltiplos clientes 12.5. Existência de contrato de venda: <input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não 12.6. Proxim. do empreed. c/ o mercado consum.: <input type="checkbox"/> Estrada: _____ km <input type="checkbox"/> Ramal: _____ km.																																																					

