

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

SHARMILLA ANTONIETA FÁVERO STREIT

**ANÁLISE DAS METODOLOGIAS DE PEGADA DE CARBONO NA
AQUICULTURA CONTINENTAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Porto Alegre
2023

ANÁLISE DAS METODOLOGIAS DE PEGADA DE CARBONO NA AQUICULTURA CONTINENTAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

SHARMILLA ANTONIETA FÁVERO STREIT

Dissertação/Tese apresentada como
requisito para obtenção do Grau de
Mestre em Zootecnia, na Faculdade de
Agronomia, da Universidade Federal do
Rio Grande do Sul.

Orientador: Dr. Danilo Pedro Streit
Júnior

Coorientador: Dr. Marco Aurélio Rotta

Área de concentração: Produção Animal

Porto Alegre

2023

CIP - Catalogação na Publicação

Streit, Sharmilla Antonieta Fávero
ANÁLISE DAS METODOLOGIAS DE PEGADA DE CARBONO NA
AQUICULTURA CONTINENTAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA /
Sharmilla Antonieta Fávero Streit. -- 2023.
82 f.
Orientador: Danilo Pedro Streit Júnior.

Coorientador: Marco Aurélio Rotta.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Aquicultura. 2. Pegada de Carbono. 3.
Sustentabilidade. 4. Produção animal. I. Streit
Júnior, Danilo Pedro, orient. II. Rotta, Marco
Aurélio, coorient. III. Título.

Sharmilla Antonieta Fávero Streit
Bacharel em Administração

DISSERTAÇÃO


Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

MESTRE EM ZOOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 02.08.2023
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 09/10/2023
Por


Documento assinado digitalmente
 **DANILO PEDRO STREIT JR**
Data: 15/09/2023 09:29:46-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Sergio Luiz
Vieira**


Assinado de forma digital por
Sergio Luiz Vieira
Dados: 2023.10.20 13:27:20
-03'00'

DANILO PEDRO STREIT JUNIOR
PPG Zootecnia/UFRGS
orientador


Sergio Luiz Vieira
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia

Documento assinado digitalmente
 **DARCI CARLOS FORNARI**
Data: 15/08/2023 15:40:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


DARCI CARLOS FORNARI
AUBURN

Documento assinado digitalmente
 **GERALDO KIPPER FOES**
Data: 04/08/2023 14:37:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

GERALDO KIPPER FOES
FURG

Documento assinado digitalmente
 **MARCO AURELIO ROTTA**
Data: 16/08/2023 10:05:16-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

MARCO AURÉLIO ROTTA
EMBRAPA

Documento assinado digitalmente
 **WILLIAM DE SOUZA FILHO**
Data: 14/08/2023 14:56:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

WILLIAM DE SOUZA FILHO
UDESC

CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

ANÁLISE DAS METODOLOGIAS DE PEGADA DE CARBONO NA AQUICULTURA CONTINENTAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

A aquicultura desempenha um papel importante no fornecimento de proteína animal para alimentação mundial. No entanto, a forte expansão deste segmento provoca discussões quanto aos aspectos sustentáveis e demanda que sejam realizadas pesquisas para identificar e reduzir os impactos ambientais provocados. Um dos indicadores de sustentabilidade é a pegada de carbono que consiste em avaliar as emissões de gases de efeito estufa geradas por uma atividade econômica ou humana. Nesse sentido, o trabalho buscou realizar uma revisão sistemática para identificar as metodologias utilizadas para avaliar a pegada de carbono em tanques de produção de peixes da aquicultura continental. Como resultado foram selecionados 9 artigos que abordaram o assunto pretendido e em conformidade com os critérios estabelecidos para a pesquisa. Foi possível perceber que os artigos utilizados na pesquisa trouxeram três metodologias principais – câmara estática e flutuante, análise de sedimentos e balanço de carbono – voltadas para mensurar as emissões de gases de efeito estufa em determinadas etapas da produção sem integrar estas informações a uma metodologia para a pegada de carbono de todo o sistema produtivo. Para avaliar a exequibilidade das metodologias encontradas nos artigos selecionados, foram determinados critérios com uma pontuação de 1-3-5 quanto aos critérios de: flexibilidade, acessibilidade, facilidade no uso/ implantação e precisão. Notou-se que a metodologia de balanço de carbono é a mais completa e que utiliza as outras duas metodologias como subsídio de dados e informações para identificar emissões e sumidouros dentro do sistema de aquicultura.

Palavras-chaves: aquicultura continental, pegada de carbono, produção animal, sustentabilidade ambiental

¹Dissertação de Mestrado em Zootecnia – Produção Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. (81 p.) agosto, 2023.

ANALYSIS OF CARBON FOOTPRINT METHODOLOGIES IN CONTINENTAL AQUACULTURE: A SYSTEMATIC REVIEW

Aquaculture plays a crucial role in providing animal protein for global food consumption. However, the rapid expansion of this sector has sparked discussions regarding sustainability aspects and necessitates research efforts to identify and mitigate its environmental impacts. One key sustainability indicator is the carbon footprint, which involves assessing greenhouse gas emissions generated by an economic or human activity. In this context, this study aimed to conduct a systematic review to identify the methodologies employed in assessing the carbon footprint in inland aquaculture fish production tanks. As a result, nine articles were selected that addressed the intended subject matter and were in accordance with the established research criteria. It was evident that the articles utilized three primary methodologies: static and floating chamber approaches, sediment analysis, and carbon balance, all aimed at measuring greenhouse gas emissions at specific stages of production without integrating this information into an overarching methodology for the carbon footprint of the entire production system. To evaluate the feasibility of the methodologies found in the selected articles, criteria were established and scored on a scale of 1-3-5 based on flexibility, accessibility, ease of use/implementation, and accuracy. It was observed that the carbon balance methodology is the most comprehensive and utilizes the other two methodologies as data and information sources to identify emissions and sinks within the aquaculture system.

Keywords: continental aquaculture, carbon footprint, animal production, environmental sustainability

Master of Science dissertation in Animal Science, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil. (81 p.)
august, 2023.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Diagrama borboleta utilizado para ilustrar o fluxo contínuo de materiais em um sistema industrial baseado em economia circular.....	14
Figura 2. Categorias encontradas no mercado de carbono.....	19

CAPÍTULO II

Figura 1: Fluxograma que constam as etapas do processo de seleção dos artigos que foram selecionados a partir da metodologia usada na Revisão Sistemática (Moher et al, 2009).....	32
Figura 2. Distribuição temporal dos estudos selecionados para a Revisão Sistemática sobre Pegada de Carbono na aquicultura continental.....	39
Figura 3. Principais termos utilizados como palavras-chaves nos oito artigos selecionados para a Revisão Sistemática.....	40
Figura 4. Principais termos utilizados como palavras-chaves nos oito artigos selecionados para a Revisão Sistemática.....	41
Figura 5. Representatividade das espécies encontradas nos artigos selecionados.....	42
Figura 6. Relação entre os autores e seus grupos de pesquisas, observados nos oito artigos selecionados para a Revisão Sistemática.....	44
Figura 7. Relação entre os oito artigos e os métodos utilizados, que foram identificados na Revisão Sistemática.....	45
Figura 8. Modelos de câmaras estáticas flutuantes (Static floating chambers) utilizadas em sistemas aquícolas.....	46
Figura 9. Relação entre os artigos, tipo de cultivo, modelo de produção e métodos utilizados encontrados nos oito artigos analisados nesta Revisão Sistemática.....	48
Figura 10. Comparação da pegada de carbono para o peixe com outras fontes de produção de proteína animal.....	63

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1. Termos individuais e combinados usados como Critérios de seleção utilizado para o desenvolvimento do estudo, Análise das metodologias de pegada de carbono na aquicultura continental: uma revisão sistemática.....	29
Tabela 2. Questões definidas como elementos de critérios, elegibilidade e exclusão para o desenvolvimento da Revisão Sistemática proposta.....	30
Tabela 3. Critérios para avaliação de exequibilidade das metodologias encontradas nos artigos que foram selecionados para revisão sistemática.....	36
Tabela 4. Detalhamento das espécies de acordo com sua respectiva ordem.....	43
Tabela 5. Descrição dos métodos utilizados para mensurar emissões de de GEE encontrados nos artigos selecionados.....	45
Tabela 6. Resumo das principais informações dos artigos selecionados para a revisão sistemática.....	49
Tabela 7. Resultado da análise dos critérios de exequibilidade para avaliação da Metodologia adotado nos artigos que foram relacionados na revisão sistemática.....	51

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	10
1. INTRODUÇÃO	11
2. HIPÓTESES.....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1 Sustentabilidade na aquicultura	13
3.2 Pegada de carbono	17
3.3 Crédito de carbono	18
4. OBJETIVOS	21
4.1 Objetivo Geral	21
4.2 Objetivos Específicos	21
CAPÍTULO II	23
1. INTRODUÇÃO	24
2. MATERIAIS E MÉTODOS	28
2.1 Procedimento de pesquisa	28
2.2 Seleção dos estudos	30
2.3 Comparação das metodologias utilizadas	35
2.3.1 Critérios utilizados	36
3. RESULTADOS	39
3.1 Distribuição temporal das publicações encontradas	39
3.2 Localização geográfica dos artigos selecionados	40
3.3 Palavras-chaves predominantes	40
3.4 Espécies utilizadas nos estudos dos artigos selecionados	41
3.5 Relação de autoria e coautoria	44
3.6 Métodos utilizados	44
3.7 Emissões registradas	47
3.8 Síntese das pesquisas encontradas	47
4. DISCUSSÕES	52
4.1 Predominância geográfica das publicações	53
4.2 Volume de publicações	53
4.3 Espécies pesquisadas	54
4.4 Metodologias e procedimentos utilizados	54
4.5 Análise comparativa dos métodos encontrados	55
4.6 Metodologias assertivas para a aquicultura continental	59
4.7 Perspectivas de mercado para a aquicultura a partir da pegada de carbono	62
5. REFERÊNCIAS	65
CAPÍTULO III	73
CONCLUSÃO FINAL	74
REFERÊNCIAS	75
APÊNDICE A	80

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

No âmbito global a produção de pescado vem se destacado como um importante setor econômico e de abastecimento de alimentos apresentando um crescimento significativo na atividade com um incremento de 3,4% em 2018 com relação ao ano anterior, o equivalente a 178,5 milhões de toneladas, sendo que a aquicultura representou igualmente um crescimento de 3,2% para o mesmo período com uma produção de 82,1 milhões de toneladas, tornando-se assim o setor de alimentos com expansão mais rápida em todo o mundo nos últimos 50 anos com uma evolução média 5,3% ao ano (FAO, 2020).

O setor necessita de aperfeiçoamento para desenvolver-se no mercado atendendo as premissas da sustentabilidade socioambiental e econômica, tais como o melhoramento genético, biossegurança, incentivos fiscais para utilização de tecnologias na produção, como também ações ligadas à regularização e fiscalização do setor (Mattos *et al*, 2021). Nesse sentido, seria viável uma contribuição formada por meio da interação colaborativa entre universidade-indústria-governo, conhecida como tríplice hélice (Leydesdorff, 2012) que promove o desenvolvimento de estruturas com base em conhecimento. Tal envolvimento é de suma importância para aproximar o conhecimento científico da indústria, promovendo melhorias capazes de impulsionar o setor aquícola (Valenti, 2021). O tema em questão tem evoluído cada vez mais no sentido de atender aos compromissos para mitigar as emissões de gases poluentes e demais impactos ao meio ambiente. Desde a 3ª Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas com a compromisso das nações assinado por meio do Protocolo de Kyoto, muitas estratégias passaram a ser adotadas para mitigar e controlar os impactos ambientais gerados pelas atividades produtivas, sendo reafirmadas no Acordo de Paris em 2015 (Woo, 2017; Mulder, 2021).

Inúmeros métodos vêm sendo desenvolvidos para mensurar os níveis de sustentabilidade dos diversos sistemas de produção, tais como a Análise do Ciclo de Vida, Avaliação Emergética, Pegada Ecológica, Conjunto de Indicadores e Resiliência. Tais métodos diferenciam-se na seleção dos dados utilizados e das variáveis a serem avaliadas (Kimpura *et al*, 2012).

A Análise do Ciclo de Vida – Life Assessment Cycle (LCA) – é uma metodologia que busca identificar os impactos ambientais gerados do início ao fim de um processo

produtivo, ou seja, durante ciclo de vida de um produto (Smárason *et al.*, 2016). Já a Avaliação Emergética é uma avaliação de sustentabilidade que se utiliza de método contábil para mensurar aspectos ambientais e econômicos e comparar os produtos em uma base comum. Para o cálculo desta metodologia são utilizados fluxos de energia das entradas e saídas de recursos naturais, econômicos e humanos de um sistema produtivo (Garcia *et al.*, 2014).

A Pegada Ecológica é um termo que diz respeito a uma forma de mensurar a biocapacidade de uma determinada área em função dos resíduos que são gerados nela (Wackernagel and Rees, 1998). O desenvolvimento desta ferramenta foi amplamente aceito por ter um conceito identificável, tangível e significativo (Lewis e Cohen, 2022).

E, por fim, o Conjunto de Indicadores e Resiliência é uma metodologia desenvolvida para a aquicultura baseada em 31 indicadores que contemplam os princípios do ESG. São 12 indicadores relativos aos aspectos ambientais, 10 para aspectos econômicos e 9 referentes aos aspectos sociais (Kimpara, Zadjband e Valenti, 2012).

Assim, infere-se que é de suma importância a identificação de metodologias mais adequadas para medir os diferentes aspectos relacionados à sustentabilidade à medida que se torna emergente a adoção de técnicas, estratégias e novas tecnologias que comprovam o monitoramento e controle das atividades envolvidas, visando a minimização dos impactos ambientais gerados pelo setor aquícola.

Considerando o rápido crescimento do setor nos últimos anos, é de se esperar um aumento da necessidade em monitorar os avanços da produção aquícola e as implicações sociais, ambientais e econômicas da atividade (FAO, 2020). E neste contexto, é preciso ponderar que a aquicultura brasileira também carece de estudos mais específicos para determinação acerca das emissões de gases de efeito estufa (GEE) envolvidas na cadeia de produção de peixes. A EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) vem desenvolvendo pesquisas com o intuito de identificar e quantificar o fluxo de GEE em um ambiente água-atmosfera a partir de métodos e equipamentos de baixo custo (Silva, 2018). Desta feita, embora a piscicultura presente em seu sistema um impacto menor, é necessário contar com metodologias efetivas e que sejam capazes de avaliar tais impactos e mensurar os custos ambientais envolvidos em cada etapa. É preciso considerar também os gargalos que envolvem o setor, como por exemplo, incertezas na regulação do segmento,

precariedade na infraestrutura da cadeia de suprimentos e a dificuldade em se obter dados mais consistentes e transparentes (Kimpapa, 2012; Mcgrath, 2020)

Em contrapartida, a produção bovina representa cerca de 14,5% das emissões consideradas antropogênicas globais de gases de efeito estufa, sendo responsável por 64% das emissões globais de hidróxido de amônia, especialmente relativos aos excrementos liberados e esterco aplicados (Ouatahar, 2021).

E é neste contexto que, compreendendo a iminente necessidade dos sistemas de produção animal em adaptar-se às exigências relacionadas a sustentabilidade e, entendendo que os métodos de avaliação de sustentabilidade compõem uma parte fundamental para a elaboração de projetos de crédito de carbono junto às entidades certificadoras, a presente pesquisa visa realizar uma revisão sistemática das metodologias de mensuração da pegada de carbono e, se possível apontar um método que possa ser aplicado à aquicultura continental.

Assim, nesta pesquisa buscou-se subsídios em dados e informações científicas com o objetivo de compreender se as metodologias existentes para avaliar a sustentabilidade na aquicultura são adequadas para a contabilidade da pegada de carbono no setor.

2. HIPÓTESES

Hipótese 1o: As metodologias existentes permitem avaliar a contabilidade da pegada de carbono na aquicultura continental.

Hipótese 1a: As metodologias existentes não permitem a contabilidade da pegada de carbono na aquicultura continental.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Como forma de sustentação teórica para elaboração deste projeto de pesquisa, este tópico será destinado a abordar o embasamento acerca dos conceitos que norteiam os temas relacionados à sustentabilidade e discussões sobre bioeconomia, economia circular, ESG (*Environmental, Social e Governamental*), pegada de carbono, bem como apresentar o funcionamento e principais diretrizes relacionadas ao mercado de crédito de carbono. Tais temas serão contextualizados também

buscando suas implicações e aplicações práticas ou, ainda, possíveis efeitos relacionadas a aquicultura.

3.1 Sustentabilidade na aquicultura

Considerando a necessidade dos sistemas produtivos na utilização de recursos fósseis e não renováveis e, em contrapartida, a imprescindibilidade em buscar alternativas para reduzir a exploração de recursos naturais, uma vez que estes são finitos, surge um campo de estudo transdisciplinar conhecido como bioeconomia. Entre outros objetivos, esta área de conhecimento busca produzir recursos biológicos novos em produtos de base biológica para serem utilizados no desenvolvimento de diversos produtos (Stegmann, 2020).

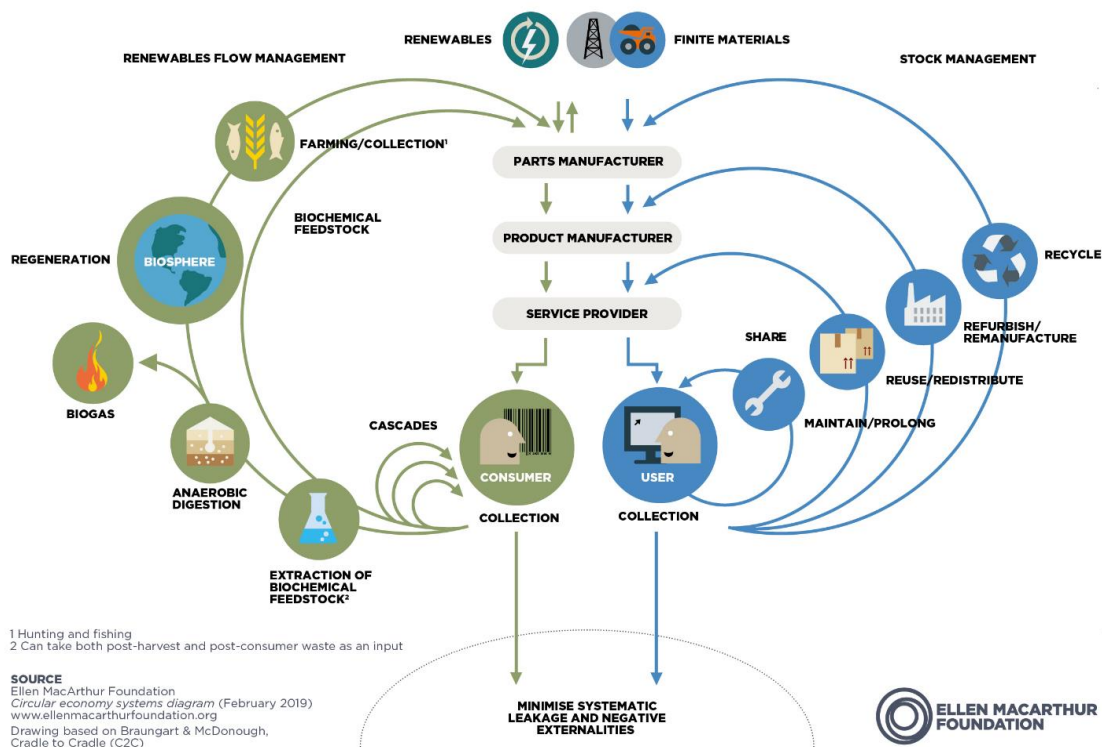
Por se tratar de um termo relativamente novo, existem muitas discussões no campo científico que questionam a vantagem da bioeconomia para o meio ambiente, ora identificando e analisando benefícios e, em outras abordagens, alertando quanto aos possíveis impactos negativos que possui, contestando seu potencial na redução de emissões de GEE. No entanto, boa parte da controvérsia diz respeito especialmente aos aspectos regulatórios, governamentais e no desenvolvimento da estrutura de mercado. A ideia é que a bioeconomia só se torna realmente um caminho viável se as estruturas e cadeias de produção visarem os resultados a longo prazo, não priorizando apenas os aspectos econômicos (Stegmann, 2020; McCormik e Kautto, 2013).

Nesse sentido, entende-se a importância do desenvolvimento de estruturas com o viés da bioeconomia, uma vez que os estudos e pesquisas relacionadas ao crescimento populacional estimam que até 2050 a população mundial passará de 7,7 bilhões para 9,7 bilhões (ONU, 2019; Arruda, 2021). Esse dado, dentre outras coisas, revela um dos maiores desafios a serem superados quanto à utilização dos recursos naturais, e impacta diretamente na capacidade do planeta de fornecer recursos e alimentos para a população.

Aliado a este cenário, a Economia Circular (EC) vem emergindo quanto conceito no campo científico, por meio de pesquisas acadêmicas que visam sobretudo compreender seu conceito atrelado à sustentabilidade. A EC é definida como um sistema fechado visando a utilização maximizada dos recursos e evitando a geração e desperdício de resíduos, ideia que também incorpora outras teorias com a mesma

perspectiva de um circuito em loop como o sistema *cradle-to-cradle* (berço ao berço), ecologia industrial, design regenerativo, entre outros (Geissdoerfer, 2017).

Em uma EC são utilizadas estratégias direcionadas a propiciar a utilização dos recursos disponíveis em um “*input*” produtivo de forma mais racional e por meio de ciclos de vida mais longos, seja por meio da reutilização, recondicionamento, reparo e reciclagem de larga duração (Figura 1). Os projetos que buscam implementar a EC são baseados em produzir produtos com alto valor agregado, podendo ser reutilizável de diferentes formas ao longo de sua vida útil, além disso busca organizar a cadeia de suprimento de forma que com a restituição dos resíduos sólidos no processo produtivo (Geissdoerfer, 2017; Arruda, 2021).



Fonte: ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013, GONG,

Figura 1. Diagrama borboleta utilizado para ilustrar o fluxo contínuo de materiais em um sistema industrial baseado em economia circular.

Nesse sentido, para que a bioeconomia seja e fato considerada sustentável e contemple os princípios de uma economia circular, entende-se que as políticas e estratégias devem bem planejadas e com objetivos focados em oportunizar sistemas que contemplem além dos objetivos econômicos, pensando essencialmente em

atender as esferas ambiental e social, a bioeconomia se mostre positiva e ecoeficiente (Hetemäki, 2017; McCormik e Kautto, 2013).

De acordo com dados da *Global Sustainable Investment Alliance*, o mercado tem absorvido amplamente as iniciativas sustentáveis e com abordagens que contemplem práticas ambientais, sociais e de governança (*Environmental, Social e Governamental - ESG*). O relatório informa que houve um crescimento de 15% em investimentos sustentáveis no período entre 2018 e 2020 (GSIA, 2020). Ainda que o conceito ESG seja antigo, ele foi utilizado em uma publicação do relatório *Who Cares Wins* do Pacto Global em parceria com o Banco Mundial e gerou forte impacto nos setores econômicos. O ESG compreende um conjunto de práticas organizacionais que voltadas a responsabilidade socioambiental e à governança. Enquanto o indicador Meio Ambiente diz respeito às ações voltadas a otimizar as operações e produção com menor custo ambiental por unidade de produto final, o Social refere-se a respeitar condições de trabalho e incentivar práticas de inclusão e diversidade social. Por fim, a Governança está relacionada a conduta corporativa com transparência das ações organizacionais, mantendo a independência na atuação de conselhos, bem como conduzir suas operações com ética e coibindo a corrupção (The Global Compact, 2004; Gao, 2021).

Embora o ESG seja um indicador não financeiro, o mercado investidor está cada vez mais voltado a realizar aplicações com abordagens sustentáveis e, neste sentido, diferentes índices e fundos específicos foram criados para atender às preferências de investidores que optarem por montar sua carteira baseada em empresas que atendam os princípios ESG, os quais compreendem títulos verdes, investimento em infraestrutura e energia renováveis, entre outros ativos considerados sustentáveis. É possível verificar também que a predileção ESG movimentou positivamente a precificação dos ativos e tem capacidade de fortalecer ainda mais estas iniciativas, levando em consideração que as estratégias neste campo são de médio e longo prazo (Pástor, 2020; Hübel, 2020; Gao, 2021).

Esse movimento é positivo ao passo que o mercado consumidor também tem se mostrado mais disposto a pagar por produtos e serviços de empresas que trabalham o ESG em suas estratégias. Por outro lado, visando os ganhos neste mercado, algumas empresas incorrem no equívoco de divulgar em seus relatórios informações supervalorizadas de ações sociais e ambientais. A intenção é demonstrar que existe um escopo de atividades voltadas ao ESG, quando na realidade essas

ações não existem ou não produzem resultados substanciais (Arouri, 2021). Essa prática é conhecida como *greenwashing* - lavagem verde - corporativa, na qual as organizações reportam resultados positivos de responsabilidade socioambiental de forma indevida e com o objetivo de aparentar ser ecologicamente correta. Em geral, as divulgações tendem a atrair o consumidor e até mesmo investimentos externos à empresa, porém quando são expostas tais publicidades enganosas acabam provocando um clima de insegurança e desconfiança que pode afetar diretamente outras organizações que não praticam o *greenwashing* (Hill, 2020; Gao, 2021).

Em um estudo voltado a compreender os impactos financeiros gerados por notícias positivas e negativas sobre empresas ESG revela que as divulgações positivas possuem baixo impacto, no entanto as informações e notícias negativas afetam significativamente organizações ESG, bem como empresas que atuam em um mercado altamente competitivo sofrem implicações maiores que àquelas inseridas em um mercado com baixo número de *players*. Essa análise é importante quando se relaciona com o risco de crédito em um mercado de ações e demonstra que é preciso avançar em protocolos, políticas e direcionamentos mais claros no que diz respeito a adoção de estratégias ESG em uma corporação (Sabbaghi, 2020; Arouri, 2021).

A dinamicidade com que pressões de órgãos internacionais em prol às mudanças de uma economia tradicional, bem como a evolução do mercado consumidor em assumir uma postura cada vez mais voltada a valorização de produtos e serviços, faz com que os diferentes setores econômicos busquem meios para adaptar suas operações e passem a vislumbrar alternativas para atender aos padrões ESG (Hill, 2020; Arouri 2021, Nishitani, 2021)

No mesmo contexto, alguns estudos voltaram-se a compreender a influência de *stakeholders* no desempenho de sustentabilidade das organizações e, mesmo considerando diferentes cenários econômicos, entende-se que há uma influência nas atividades de sustentabilidade e estas por sua vez melhoram o desempenho de sustentabilidade da organização. Assim como empresas que buscam integrar a contabilidade de custo de sua cadeia produtiva aos conceitos de economia circular tendem a reduzir seus encargos ambientais, a utilização de recursos hídricos e a aumentar seu desempenho econômico. No entanto, é preciso ressaltar que os ganhos relacionados a investimentos em práticas de ESG são percebidos em organizações com opções de crescimento menores, uma vez que empresas com opções de crescimento maiores necessitam atender necessidades distintas e, muitas vezes

imediatas, dos *stakeholders* enquanto os desempenhos positivos em ações ESG estão voltados para o futuro (La Fuente, 2021; Nishitani, 2021)

Dessa forma, trazendo à luz do sistema de produção animal, assim como outros tipos de culturas agropastoris, a aquicultura utiliza-se de inúmeros recursos naturais e, portanto, necessita de soluções para problemas como a rastreabilidade, o desenvolvimento de produtos voltados a atender a demanda do mercado, reutilização de água e resíduos, bem como avanços em biotecnologia que sejam capazes de contribuir na redução ou controle da emissão de GEE e dos recursos naturais disponíveis (Valenti, 2021).

Diante dos desafios enfrentados pela indústria de produção aquícola em reduzir impactos ambientais, algumas técnicas inovadoras e tecnologias disruptivas têm sido testadas e desenvolvidas em diversas etapas da aquicultura. Como exemplo, tecnologias atuais como internet das coisas (IoT), nanotecnologia, *Big Data* e inteligência artificial (IA) são utilizadas para contribuir para aumentar a qualidade do produto final, tornar os processos mais eficientes, além de desenvolver melhor o mercado para obter maior vantagem competitiva. (Yue, 2021).

Ao provocarem melhorias no sistema produtivo essas tecnologias contribuem significativamente para reduzir possíveis impactos e geração de resíduos. Um exemplo é a utilização da tecnologia *blockchain*, originalmente criada para o gerenciamento dados de criptomoedas, visando gerenciar o fluxo de informações ao longo da cadeia produtiva da aquicultura. O sistema entrega alta segurança e confiabilidade uma vez que ao inserir os dados estes passam a ser imutáveis, compartilháveis, rastreáveis. Dessa forma, o *blockchain* pode atuar tanto reduzindo custos de rastreabilidade como evitar o desperdício de alimentos e reduzir o tempo de processamento das transações (Woo, 2021; Yue, 2021). Igualmente a tecnologia Big Data tem potencial para atender a necessidade de gerenciamento do volume de dados gerados por um sistema de aquicultura e, assim, apoiar as decisões tanto operacionais como estratégicas de profissionais e produtores (Akekar, 2021).

3.2 Pegada de Carbono

O desenvolvimento de métodos para mensurar os níveis de sustentabilidade diferencia-se na seleção dos dados utilizados e das variáveis a serem avaliadas (KIMPARA et al, 2012). Assim, infere-se que é de suma importância a identificação de

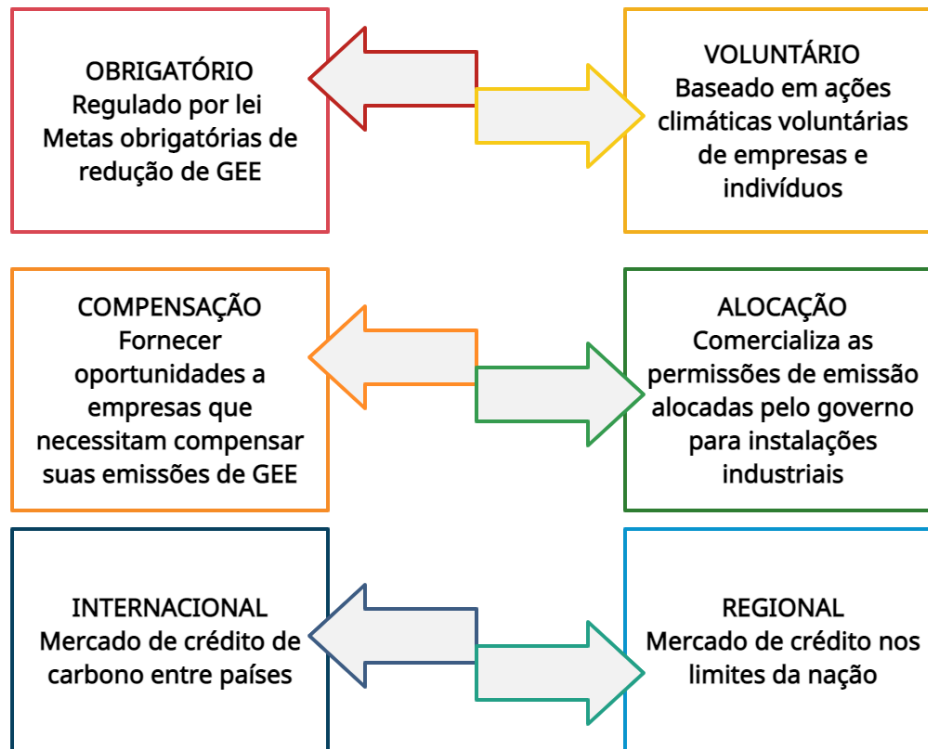
metodologias mais adequadas para medir os diferentes aspectos relacionados à sustentabilidade à medida que se torna emergente a adoção de técnicas, estratégias e novas tecnologias que comprovam o monitoramento e controle das atividades envolvidas, visando a minimização dos impactos ambientais gerados pelo setor aquícola.

Embora a aquicultura apresente em seu sistema um impacto menor, é necessário contar com metodologias efetivas e que sejam capazes de avaliar tais impactos e mensurar os custos ambientais envolvidos em cada etapa (KIMPARA, 2012). É preciso considerar também os gargalos que envolvem o setor, como por exemplo, incertezas na regulação do segmento, precariedade na infraestrutura da cadeia de suprimentos e a dificuldade em se obter dados mais consistentes e transparentes (MCGRATH, 2020).

3.3 Crédito de carbono

A partir do conceito de Pegada Ecológica (Wackernagel and Rees, 1998), o qual busca avaliar os níveis de impactos ambientais causados pelas atividades humanas em seus estilos de vida, derivou-se o conceito de Pegada de Carbono pensado para mensurar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) a partir da Análise do Ciclo de Vida de produtos e serviços desde o *input* de insumos no sistema produtivo, passando pelo processamento desta matéria-prima até o tratamento dados aos resíduos oriundos deste processo. (Williams, 2009; Chang, 2017).

Já a certificação de crédito de carbono constitui a forma encontrada para mensurar em termos financeiros os níveis de GEE que uma determinada atividade ou sistema produtivo gera e, assim, precificando tais impactos em um mercado de títulos que podem ser negociados na bolsa de valores. Este mercado pode ser dividido em três categorias (Figura 2): obrigatório versus voluntário, alocação versus compensação e mercados internacionais versus regionais (Woo, 2021).



Fonte: Elaborado pelo autor com base em WOO, 2021

Figura 2. Categorias encontradas no mercado de carbono.

Em 2015 um novo tratado foi discutido entre os países integrantes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (CQNUMC) com o objetivo de estabelecer ações urgentes para redução dos gases de efeito estufa e suas consequências relacionadas às mudanças climáticas. Como resultado, em 2020 entrou em vigor o chamado Acordo do Clima de Paris que, ao contrário do Protocolo de Kyoto, incluiu todos os países em um esforço e comprometimento global para conter o aquecimento global (UNFCCC, 2015; Souza, 2017; Mulder *et al*, 2021)

No Brasil, encontra-se em curso o Projeto de Lei nº 528/2021 que visa regulamentar o mercado brasileiro de redução de emissões (MBRE) determinado pela Política Nacional de Mudança do Clima – Lei nº 12.187 de 29 de dezembro de 2009. A medida se faz necessária não somente para atender aos tratados internacionais, mas também como forma de conferir maior transparência às negociações de governos, empresas ou pessoas físicas com relação às negociações de crédito de carbono (Brasil, 2021)

No entanto, ainda que a pegada de carbono tenha sido cada vez mais discutida e os créditos de carbono se tornando um importante indicador de sustentabilidade na

produção de alimentos, no sistema de aquicultura o desafio maior é estabelecer uma metodologia padronizada e compatível para a realização destes cálculos, permitindo a correta mensuração dos níveis de emissão de carbono em todas as etapas da atividade. Além disso, é preciso considerar as diferenças nas técnicas, insumos e tecnologias utilizadas, entre outros fatores de ordem logística da atividade, uma vez que cada uma delas pode contribuir ou não para estes impactos (MaCleod e Hansan *et al*, 2020).

No mercado de comercialização de créditos 1 (um) crédito de carbono é o equivalente a 1 (uma) tonelada de dióxido de carbono, para outros gases é utilizada uma tabela de equivalência para CO₂, tais como: metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), ozônio (O₃), hidrofluorcarbonos (HFCs). No âmbito do Protocolo de Kyoto, os países em desenvolvimento poderiam comercializar créditos de carbono a partir do chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), instituição responsável por definir padrões para metodologias para compensação de carbono voluntariamente, enquanto países desenvolvidos poderiam adquirir tais créditos buscando neutralizar suas emissões, mas sem redução de suas metas. (Nishi, 2005; Poyer, 2020)

Para propostas que visam a implementação de uma nova metodologia para redução de emissão de GEE ou nova metodologia de monitoramento destas emissões, os projetos deverão ser submetidos ao Conselho Executivo para revisão e aprovação e posteriormente seguir para a validação e submissão ao registro do projeto. Já os projetos que objetivam a utilização de uma metodologia aprovada podem prosseguir diretamente com a validação da atividade do projeto do MDL e enviar o CDM PDD solicitando o registro (UNFCCC, 2021; Benites-Lazaro, 2019).

Com o objetivo de entender a dimensão com a qual o mercado de crédito de carbono tem se estabelecido e a relevância deste para as organizações, Safiullah *et al* (2021) buscaram compreender em seu estudo no período de 2004-2018 o impacto que os níveis de emissão de carbono das empresas estadunidenses com relação às suas classificações de crédito. A pesquisa apresenta que há uma tendência crescente das agências de classificação de crédito e investidores em as altas emissões de GEE como um fator de risco para o fluxo de caixa operacional dessas corporações.

Diante do cenário, o qual aponta para a avaliação de sustentabilidade como fator de impacto tanto para o mercado de ações como para a competitividade de organizações, entende-se que os sistemas produtivos necessitarão investir continuamente em processos e tecnologias com capacidade para demonstrar que

estão efetivamente trabalhando com ações geradoras de sustentabilidade e, no mercado, contabilizadas por meio da certificação do crédito de carbono. Mesmo sendo uma importante política ambiental, a precificação do crédito de carbono necessita desenvolver-se mais para gerar benefícios tangíveis e gerar resultados efetivos ao que se propõe – no caso a redução da pegada de carbono e a idealização de projetos produtivos mais sustentáveis (Best, 2020).

Em relação à produção aquícola, o que se sabe até então é que a aquicultura possui larga vantagem com relação a bovinocultura quanto à intensidade de emissão dada por meio da relação entre o quilo de emissões de GEE por unidade de produção comestível. Isso se deve ao fato de que o peixe possui uma conversão alimentar mais eficiente, além de não produzir metano (CH₄) por meio de fermentação entérica (MaCleod e Hansan *et al*, 2020)

Em contrapartida, ressalta-se que os meios pelos quais as operações da aquicultura são desenvolvidas interferem diretamente no resultado dessas emissões, nesse caso desde o insumo utilizado para a produção da ração até a utilização de combustíveis para o transporte ou energia para iluminação e bombeamento de água irão afetar os níveis de emissão de GEE (McGrath, 2020).

Embora a atividade tenha apresentado números expressivos de crescimento na última década no Brasil e com evidências de que o setor aquícola tenha potencial de baixa emissão de GEE em comparação a outras cadeias produtivas de alimentos, a aquicultura nacional necessita avançar em direção a projetos de sustentabilidade - especificamente com relação à pegada de carbono – podendo beneficiar-se no mercado competitivo a médio e longo prazos (Silva, 2018).

4. OBJETIVOS

4.1 Geral

Analisar e comparar as metodologias de avaliação de sustentabilidade existentes na aquicultura para a contabilidade da pegada de carbono, e identificar qual seria a mais indicada para a aquicultura continental.

4.2 Específicos

- Levantar na literatura acadêmica nacional e internacional metodologias existentes para avaliar a sustentabilidade de sistemas aquícolas em relação a pegada de carbono;
- Identificar a metodologia mais efetiva para a contabilidade da pegada de carbono na aquicultura;
- Avaliar a aplicabilidade das metodologias de pegada de carbono na aquicultura continental;
- Selecionar usando critérios de flexibilidade, acessibilidade, facilidade de uso/ implementação e precisão uma metodologia de avaliação de sustentabilidade para mensurar a pegada de carbono na aquicultura

CAPÍTULO II¹

¹ Artigo elaborado seguindo modelo de estrutura e formatação do periódico *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*

ANÁLISE DAS METODOLOGIAS DE PEGADA DE CARBONO NA AQUICULTURA CONTINENTAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

ABSTRACT: O presente estudo realizou uma revisão sistemática com o objetivo de identificar as metodologias de avaliação de sustentabilidade existentes na aquicultura para a contabilidade da pegada de carbono e analisá-las a partir de critérios que são importantes para sua exequibilidade nos tanques de produção de peixes de água doce. Como resultado foram encontradas três metodologias para mensurar a emissão de carbono e nenhuma delas esteve associada a uma metodologia para a pegada de carbono. Buscando compreender a viabilidade e exequibilidade das metodologias encontradas foram determinados quatro critérios de avaliação. Foi possível inferir que o balanço de carbono é a metodologia com maior possibilidade de adaptação a um modelo mais abrangente para mensurar a pegada de carbono na aquicultura continental. Concluiu-se que é necessária a avaliação da aplicabilidade das metodologias em desenvolvimento para a pegada de carbono em diferentes modelos da aquicultura continental, visto que são, de forma geral, complexas em sua operação, e que levem em consideração as diferenças dos sistemas de produção em terra, que variam muito.

1. INTRODUÇÃO

A pressão para transformar os sistemas industriais em modelos mais sustentáveis avança com os dados preocupantes sobre a capacidade do planeta em subsidiar recursos naturais para sustentar as necessidades básicas e o estilo de vida atual da população (Ajayi, 2023). Estima-se que a população mundial continuará crescendo e chegará a aproximadamente 9 bilhões de pessoas até 2050 (United Nations, 2017). Essa projeção impacta diretamente na biocapacidade do planeta em manter a oferta de recursos básicos à sobrevivência humana, especialmente com relação às condições para sustentar ou elevar o estilo de vida, hábitos de consumo e alimentação (Wackernagel, 2019).

Os dados do IPCC sobre o painel climático do planeta apontam o aumento das emissões de carbono entre os anos de 2010-2019, colocando as nações em alerta para as possíveis consequências que podem surgir nas próximas décadas para a biodiversidade e resultar em desequilíbrios que irão afetar diretamente a vida humana (IPCC, 2022). Ainda conforme o mesmo documento do IPCC, as mudanças climáticas transformaram algumas áreas, que antes eram sumidouros, em áreas emissoras de

carbono e, dessa forma, afetando o contexto ambiental destas localidades. Neste ponto, a contabilidade de carbono passou a ser um tema de recorrente discussão em diferentes setores econômicos, dentre os quais o sistema agroindustrial que vem sendo apontado como um dos maiores focos de emissão de gases de efeito estufa (GEE), pois em uma análise mais ampla considera todo o processamento do alimento, embalagem, transporte, consumo e descarte dos resíduos (Tubiello, 2021).

Levando em conta toda a estrutura e dimensão do setor agroindustrial, existe uma pressão para que todos os segmentos envolvidos desenvolvam melhores práticas visando processos mais sustentáveis e que sejam estabelecidos novos modelos industriais aliados às tecnologias capazes de controlar e monitorar tais emissões (Depra, 2022). Alguns estudos apontam que as emissões atuais de GEE geradas pela indústria de alimentos podem afetar consideravelmente o alcance das metas globais estabelecidas pelo Acordo de Paris para limitar a temperatura no planeta, colocando este setor como centro do problema (Clark *et al*, 2020). Assim como ocorre em todo o setor produtivo, a indústria de proteína animal vem sendo foco de pesquisas para compreender os custos ambientais envolvidos no setor (Hilborn, 2018, Shabir, 2023). Neste sentido, a esta indústria tem buscado medidas para reduzir impactos ambientais diversos incluindo a emissão de GEE (Forero-Cantor, *et al* 2020), ao passo em que necessita aumentar a produtividade e abastecer o mercado e a crescente demanda por carne (Yuan, 2019; Fao, 2022).

A aquicultura é um dos segmentos que compõe a indústria de proteína animal e caracteriza-se por ser uma atividade de alto interesse e potencialmente importante para a produção de alimentos. Em comparação com outros tipos de produção animal ainda há pouco incentivo nos estudos e pesquisas em aquicultura (Valenti, 2021). No caso específico da aquicultura continental, os estudos e pesquisas reduzem ainda mais. Porém, de acordo com Mattos *et al.* (2021), estas podem gerar um maior desempenho dos produtos da aquicultura dentro desse novo mercado, os quais buscam atender as premissas da sustentabilidade socioambiental e econômica. Os autores relacionam neste caso o melhoramento genético e a biossegurança, onde ambos potencializam uma produtividade mais segura e eficiente, e destacam também a importância dos incentivos fiscais para utilização de novas tecnologias na produção em conjunto com ações de regularização e fiscalização do setor, todas contribuindo para uma maior representatividade da aquicultura na indústria de carnes. Outro ponto significativo é evidenciado por Valenti *et al.* (2021) que orientam a aproximação da

atividade científica aos interesses da indústria, a qual possui capacidade de traduzir esse conhecimento de produção sustentável em ações práticas que podem impulsionar o desenvolvimento do setor. Este conceito pode ser observado no estudo Riedo (2017) que, aplicando o método tríplice-hélice para analisar o desenvolvimento da piscicultura nacional, apontou que o tópico central desta interação é exatamente o desenvolvimento sustentável.

Porém, embora a aquicultura seja essencial para a segurança alimentar e nutricional em nossa sociedade moderna (MacLeod *et al.*, 2020; FAO, 2020), o forte desenvolvimento da atividade tem levantado discussões acerca das necessidades de recursos e exploração ambiental envolvidos (Xu *et al.*, 2022; Chen *et al.*, 2023). Estimativas como a de Ahmed *et al.* (2019) pressupõe que a aquicultura deverá fornecer 62% de peixes para suprir a demanda global do alimento. Por outro lado, no estudo recente de Jiang *et al.* (2022), avaliando a sustentabilidade da aquicultura a partir da relação alimentar-energia-água-carbono, o segmento apresentou baixo índice de sustentabilidade, o que torna preocupante o modelo atual para a produção de animais aquáticos quanto à sustentabilidade.

A abordagem acerca da sustentabilidade passou de apenas uma discussão que vem se arrastando desde a 3ª Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, com a assinatura do Protocolo de Kyoto, para um tema que vem sendo integrado nas relações comerciais entre as nações mundiais e vem transformando até mesmo o perfil do mercado consumidor, inclusive hoje não sendo mais considerado um diferencial entre as empresas, tamanha relevância que assumiu.

Para tanto, este tema tem evoluído em diferentes sentidos, sendo um deles o de atender aos compromissos para mitigar as emissões de gases de efeito estufa e demais impactos ao meio ambiente. Inúmeras estratégias passaram a ser adotadas para mitigar e controlar os impactos ambientais gerados pelas atividades produtivas, sendo reafirmadas no Acordo de Paris em 2015 (Woo, 2017; Mulder, 2021).

O mercado de investimentos passou também a pressionar organizações públicas e privadas quanto às estratégias voltadas à sustentabilidade ambiental (Jain *et al.*, 2021) como, por exemplo, a utilização de títulos verdes para organizações que destinam recursos para financiar projetos verdes (Maltais, 2020). Neste contexto, criou-se a abordagem Environmental, Social and Governance (ESG), que tem por objetivo avaliar o desenvolvimento de uma empresa sob os aspectos da

sustentabilidade e dos impactos sociais decorrentes da governança de suas atividades econômicas (Li *et al.*, 2021; Wong *et al.* 2022).

O ESG tem possibilitado ao mercado identificar e classificar as organizações conforme seu desempenho com relação às questões ambientais, sociais e de governança. Essa pontuação eleva a confiança de investidores que buscam empresas com baixo risco de se envolverem em problemas oriundos de uma das áreas avaliadas no ESG, sobretudo se estes problemas se tornarem midiáticos e afetarem a imagem e o consumo dos produtos da marca (Clément *et al.*, 2023). O mercado consumidor, por sua vez, também vem transformando suas decisões de compra baseadas em critérios ambientais, como poder visto no estudo de Su *et al.* (2019) que buscou a opinião de consumidores da geração Z estadunidenses e revelou que a proteção ambiental é um forte critério para aquisição de produtos alimentícios saudáveis.

Inúmeros métodos vêm sendo desenvolvidos para mensurar os níveis de sustentabilidade dos diversos sistemas de produção, tais como: Análise do Ciclo de Vida, Avaliação Emergética, Pegada Ecológica, Conjunto de Indicadores e Resiliência. Estes métodos são diferentes entre si, além de possuírem diferentes conjuntos de dados que são utilizados para as variáveis avaliadas (Kimpara *et al.*, 2012). A identificação de metodologias mais adequadas para medir os diferentes aspectos relacionados à sustentabilidade possibilita a análise mais eficaz de determinada metodologia, como também permite a identificação de gargalos e a necessidade de melhorias em partes do processo estudado. Esse tipo de averiguação aceita que sejam adotadas novas técnicas, estratégias e tecnologias para monitorar e controlar as atividades envolvidas com o objetivo de equilibrar os altos níveis de produtividade com menores impactos ambientais gerados. Cada metodologia utiliza critérios e fatores de impacto ou influência distintos para mensurar de forma quantitativa os tipos de impactos gerados no meio ambiente.

Além disso, existe em curso um ambiente de negócios complexo e com uma demanda por tecnologias que suportem o desenvolvimento sustentável na produção de alimentos, assim este estudo teve como objetivo analisar e comparar as metodologias de avaliação de sustentabilidade existentes na aquicultura para a contabilidade da pegada de carbono. Neste sentido, esta revisão busca identificar quais as metodologias existentes para avaliar a contabilidade da pegada de carbono na aquicultura, e responder à pergunta: qual das metodologias parece ser mais

adequada levando em consideração os aspectos de flexibilidade, acessibilidade, precisão e implementação?

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A elaboração do estudo utilizou o método de revisão sistemática quantitativa de literatura (SQRL) com o objetivo de analisar as publicações sobre a pegada de carbono na aquicultura. A revisão sistemática trata de uma revisão de literatura que utiliza protocolos e estratégias de busca criteriosamente predefinidos com o objetivo de selecionar material científico e identificar informações em resultados e discussões que possibilitem a responder um problema fundamental de pesquisa (Higgins; Green, 2008).

O protocolo e as estratégias incluem todas as etapas a serem realizadas na busca do material, bem como os critérios para elegibilidade, exclusão e inclusão de estudos. Tais critérios podem ser relacionados ao tempo de publicação do material, linguagem utilizada, tipo de literatura, abordagem do tema, entre outros que sejam relevantes ao objetivo do autor da revisão sistemática.

2.1 Procedimento de pesquisa

Para a elaboração do protocolo de pesquisa da revisão sistemática foram selecionados os termos correlacionados à pergunta e ao objetivo da pesquisa, sendo posteriormente pesquisados de forma individual e combinada nas principais bases de dados científicas, conforme a Tabela 1.

Os termos foram inseridos no campo de busca especificamente em “article title”, “abstract” e “keywords” e para a busca por meio da combinação dos termos foram utilizados os operadores booleanos “AND” para pesquisar todos os termos da chave e “OR” quando os termos foram considerados sinônimos e a pesquisa apresentou pelo menos uma das palavras da chave.

Tabela 1. Termos individuais e combinados usados como Critérios de seleção utilizado para o desenvolvimento do estudo, *Análise das metodologias de pegada de carbono na aquicultura continental: uma revisão sistemática*.

ID	TERMOS	RESULTADOS (SCOPUS/ WOS/ PubMed)
1	"aquaculture"	
2	"freshwater"	
3	"fish farming" OR "fish farm" OR "fish production"	
4	#1 AND #2 AND #3 ("aquaculture") AND ("freshwater") AND ("fish farming" OR "fish farm" OR "fish production")	259 / 295 / 126
5	"carbon footprint"	
6	#4 AND #5 (("aquaculture") AND ("freshwater") AND ("fish farming" OR "fish farm" OR "fish production") AND ("carbon footprint"))	3 / 1 / 0
7	#1 AND #2 AND #5 ("aquaculture") AND ("freshwater") AND ("carbon footprint"))	9 / 8 / 3
8	"greenhouse gases"	
9	#1 AND #2 AND #8 ("aquaculture") AND ("freshwater") AND ("greenhouse gases"))	23 / 5 / 5
10	#6 AND #8 (("aquaculture") AND ("freshwater") AND ("fish farming" OR "fish farm" OR "fish production") AND ("carbon footprint") AND ("greenhouse gases"))	3 / 0 / 0
11	#7 AND #8 ("aquaculture") AND ("freshwater") AND ("carbon footprint") AND ("greenhouse gases"))	9 / 0 / 0
12	#4 AND #8 ("aquaculture") AND ("freshwater") AND ("fish farming" OR "fish farm" OR "fish production") AND ("greenhouse gases"))	7 / 0 / 1
13	"methodology"	
14	#1 AND #5 AND #13 ("aquaculture" AND "carbon footprint" AND "methodology")	7 / 3 / 0
15	#1 AND #2 AND #5 AND 13 ("aquaculture") AND ("freshwater") AND ("carbon footprint") AND ("methodology")	2 / 0 / 0
16	#6 AND #8 AND #13 (("aquaculture") AND ("freshwater") AND ("fish farming" OR "fish farm" OR "fish production") AND ("carbon footprint") AND ("greenhouse gases") AND ("methodology"))	0 / 0 / 0
17	#6 AND #13 (("aquaculture") AND ("freshwater") AND ("fish farming" OR "fish farm" OR "fish production") AND ("carbon footprint") AND ("methodology"))	0 / 0 / 0

18	"carbon accounting"	
19	#1 AND #2 AND #18 ("aquaculture") AND ("freshwater") AND ("carbon accounting")	31 / 0 / 0
20	#4 AND #5 AND #18 (("aquaculture") AND ("freshwater") AND ("fish farming" OR "fish farm" OR "fish production") AND ("carbon footprint") AND ("carbon accounting"))	0 / 0 / 0
21	#1 AND #2 AND #8 AND #18 ("aquaculture") AND ("freshwater") AND ("greenhouse gases") AND ("carbon accounting")	28 / 0 / 0
22	"inventory"	
23	#4 AND #5 AND # (("aquaculture") AND ("freshwater") AND ("fish farming" OR "fish farm" OR "fish production") AND ("carbon footprint") AND ("inventory"))	0 / 0 / 0
24	(("aquaculture") AND ("freshwater") AND ("fish farming" OR "fish farm" OR "fish production") AND ("inventory"))	6 / 5 / 1
25	(("aquaculture") AND ("freshwater") AND ("fish farming" OR "fish farm" OR "fish production") AND ("greenhouse gases") AND ("inventory"))	0 / 0 / 0

2.2 Seleção dos estudos

As estratégias de busca foram definidas a partir dos objetivos da pesquisa com o intuito de selecionar os estudos mais relevantes. Os critérios de inclusão e exclusão foram pensados a partir das questões norteadoras da pesquisa, conforme a Tabela 2.

Tabela 2. Questões definidas como elementos de critérios, elegibilidade e exclusão para o desenvolvimento da Revisão Sistemática proposta.

	CRITÉRIO	ELEGIBILIDADE	EXCLUSÃO
1	Tempo de publicação ou período	Indiferente	Não há critérios para exclusão
2	Linguagem	Indiferente	Sem possibilidade de tradução
3	Tipo de literatura	Artigos científicos	Materiais em formatos distintos ao de artigo científico
4	Localização	Indiferente	Não há critérios para exclusão

Fonte: elaborado pelos autores.

Os artigos encontrados por meio das estratégias de pesquisa foram analisados previamente quanto aos títulos e resumos e, posteriormente, por meio da leitura do texto completo para a definição final sobre a elegibilidade ou exclusão. Os artigos incluídos para as discussões foram selecionados por permitir a análise de informações quanto à metodologia utilizada para mensurar a pegada de carbono e fornecer informações significativas quanto às características dos meios de produção, espécies utilizadas para o estudo e etapa da cadeia produtiva nas quais foram empregadas.

A Figura 1 apresenta o fluxograma com a ordem em que as etapas da revisão sistemática foram realizadas, bem como uma descrição sumarizada, o número de estudos excluídos e o total resultante ao final de cada uma das etapas.

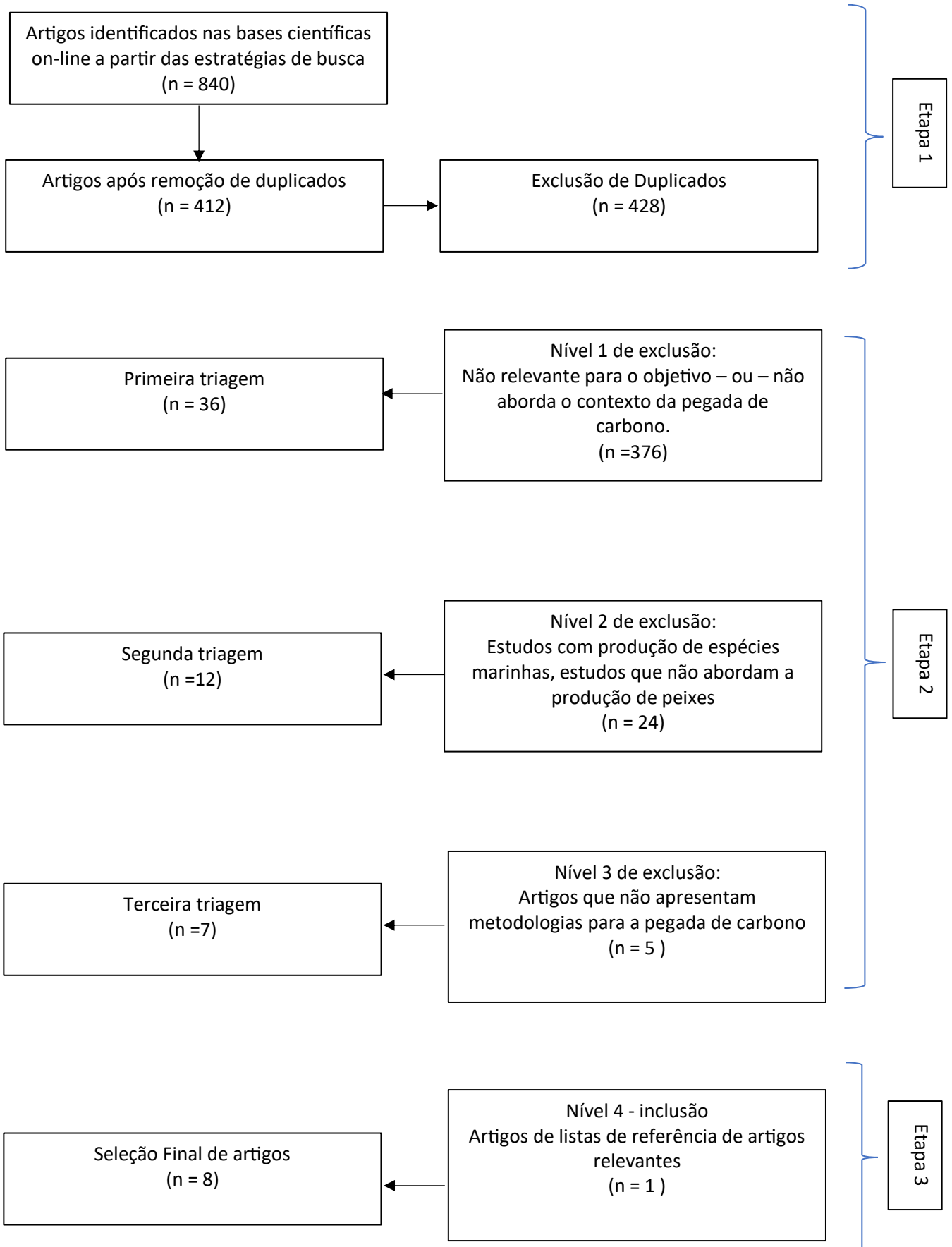


Figura 1. Fluxograma que constam as etapas do processo de seleção dos artigos que foram selecionados a partir da metodologia usada na Revisão Sistemática (Möher *et al*, 2009).

DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DA REVISÃO SISTEMÁTICA

Etapa 1 – Identificação de artigos nas bases de dados científicos

Nesta primeira etapa foram utilizadas as chaves de buscas e suas combinações (Tabela 1) para encontrar os estudos científicos relacionados ao objetivo da pesquisa, utilizando as bases: Scopus, Web of Science e PubMed. Neste primeiro momento não foi utilizado filtro quanto ao tipo de publicação, sendo considerados além de artigos, livros, capítulos de livros, notas, entre outros, exceto *grey literature*.

É pertinente ressaltar que também não foi considerado um filtro para ano de publicação ou intervalo de tempo das publicações pesquisadas, uma vez que os dados históricos referentes ao tema são relevantes para compreender a evolução e os marcos importantes nas discussões do assunto.

Com base no objetivo da pesquisa foram utilizados termos “aquaculture”, “freshwater”, “fish farm”, “fish farming”, “fish production”, “carbon footprint”, “greenhouse gases”, os quais foram combinados entre si de forma a obter resultados mais específicos à pesquisa. A identificação dos termos foi feita de forma numérica para realizar as combinações e seguindo a ordem de utilização nas chaves de busca, como por exemplo “#1 AND #2”.

A primeira combinação realizada foi entre os termos “aquaculture” AND “freshwater” AND “fish farming” OR “fish farm” OR “fish production”. Posteriormente foi acrescentado à chave o termo “carbon footprint” com o intuito de buscar estudos mais específicos. Em seguida, foram acrescentados, um a um na chave de busca, os vocábulos “greenhouse gases”, “methodology”, “carbon accounting” e “inventory” diversificando as buscas com novas combinações entre os termos.

Todas as referências encontradas foram exportadas para a biblioteca do Endnote onde foram excluídos os materiais duplicados, resultando em 412 artigos na biblioteca final desta primeira fase.

Etapa 2 – Análises preliminares dos materiais coletados

Na segunda etapa da revisão foram realizados três níveis de análises seguindo critérios preestabelecidos e visando filtrar os estudos coletados em conformidade com os objetivos da pesquisa. A seguir serão descritos cada um dos níveis de análise realizados e os resultados finais de cada uma.

Análise 1 – Estudos com relevância para a pesquisa

A primeira triagem buscou identificar em uma leitura preliminar de títulos, resumos e palavras-chaves os materiais que abordam a pegada de carbono ou a emissão de gases de efeito estufa. Além disso, foi utilizado como critério de exclusão aqueles artigos que não apresentam os estudos no contexto da aquicultura como, por exemplo, artigos de pesquisas em reservatórios de água.

Nesta análise também foram excluídos materiais não acadêmicos como editoriais e resumos de conferências, artigos em que o tema é citado de forma superficial ou apresentado como uma linha de pesquisa a ser futuramente explorada. Ao final da aplicação desses critérios, o total de documentos para serem efetivamente analisados na revisão sistemática foi de 36 artigos, de forma que 340 foram descartados.

Análise 2 – Identificação de estudos em produção de peixes de água doce ou aquicultura continental

Considerando que a presente pesquisa tem como interesse primordial a aquicultura continental, na segunda etapa de análise foram excluídos os artigos em que o foco dos estudos foram a pesca artesanal e industrial, a piscicultura marinha ou especificamente espécies marinhas de peixes, moluscos ou crustáceos. Ao final desta análise foram descartados 24 artigos restando 12 ao final.

Análise 3 – Estudos com metodologias para pegada de carbono na aquicultura continental

A fase 3 da análise consistiu em selecionar artigos em que foram exploradas metodologias ou resultados de estudos de pegada de carbono na aquicultura continental. Nesta fase foi possível organizar os estudos por espécies utilizadas, meios de produção e fase da cadeia de produção abordada. Foi possível também identificar em uma leitura mais aprofundada os materiais que apresentaram o tema apenas nas palavras-chave e nas referências, mas que não houve detalhamento ao longo do estudo e que pudessem corroborar com os objetivos da revisão. Deste modo, ao final da análise foram descartados dois artigos, resultando ao final da etapa sete artigos.

Etapa 3 – Inclusão de estudos relevantes

A terceira etapa de seleção dos estudos consistiu em identificar estudos considerados como literatura cinzenta em bases de dados que indexam esse tipo de material em suas buscas. O objetivo foi investigar neste tipo de material alguma pesquisa ou estudo que pudesse apresentar dados e informações relevantes para o tema da revisão e capazes de corroborar com a discussão do tema pretendido. As bases de dados utilizadas para identificação da literatura cinzenta foram: Google Scholar e Carrot2 e com o emprego das mesmas palavras-chaves e combinações descritas na Tabela 1. Esta busca não resultou em nenhum material inédito, ou seja, retornou artigos e materiais previamente selecionados nas etapas anteriores.

Houve a inclusão de um artigo na seleção final que não foi encontrado por meio do protocolo de busca e utilizando as palavras-chaves determinadas. Neste caso, o estudo foi coletado a partir das referências de um dos artigos que obedeceram a estratégia da revisão sistemática e que, a partir dos três níveis de análise mostrou-se apto e suficientemente relevante para ser incluído nos resultados e para as discussões do tema.

2.3 Comparação das metodologias utilizadas

A sugestão de uma ferramenta de análise capaz de avaliar critérios relacionados à eficácia, eficiência e efetividade de metodologias para mensurar a pegada de carbono na aquicultura é fundamental do ponto de vista gerencial. Esta ferramenta seria capaz de proporcionar para gestores da área a possibilidade de selecionar aquela que irá corresponder com sua realidade e retornar dados mais precisos em conformidade com as características de sua produção.

A comparação foi realizada com base em uma escala Tipo-Lickert (Edmonson apud Feijó; Petri; Vicente, 2020) e posteriormente foram avaliados de forma quantitativa em uma escala numérica os critérios mais relevantes para a aplicabilidade de uma metodologia de pegada de carbono na aquicultura. A avaliação segue a escala de 1 a 5 onde 1 representa “não atende”, 3 “atende parcialmente” e 5 “atende totalmente”. A ferramenta aqui segue com uma avaliação a partir das informações coletas dos estudos selecionados nesta revisão sistemática, bem como de outros artigos que versam sobre as metodologias encontradas.

Com o objetivo de avaliar e pontuar cada critério foi elaborado um formulário com perguntas para orientar a melhor classificação dos métodos utilizados (Tabela 3)

2.3.1 Critérios utilizados

2.2.1.1 Flexibilidade

O critério de flexibilidade foi determinado buscando entender o quão adaptável e abrangente a metodologia pode ser considerando os diferentes sistemas de produção utilizados – intensiva, extensiva, semi-intensiva e RAS – e os tipos de produção: monocultivo, policultivo e ITMA.

2.2.1.2 Acessibilidade

Quanto à acessibilidade o objetivo foi avaliar se as metodologias empregadas exigem alto nível de conhecimento técnico para operar as atividades. Além disso, neste critério também é avaliada a necessidade de recursos financeiros para implementar a metodologia.

2.2.1.3 Precisão

O critério de precisão busca analisar se as metodologias possuem a capacidade de mensurar as emissões de GEE com precisão ou conferir segurança aos dados coletados para a avaliação destas emissões.

2.2.1.4 Facilidade no uso/ implementação

Neste critério o objetivo foi avaliar as metodologias com relação a complexidade de infraestrutura e equipamentos necessários para sua utilização. Ao compreender tal complexidade é possível identificar se a metodologia pode ser implementada em sistemas com diferentes escalas e volumes de produção.

Tabela 3. Critérios para avaliação de exequibilidade das metodologias encontradas nos artigos que foram selecionados para revisão sistemática.

Método/metodologia	Metodologia 1	Metodologia 2	Metodologia 3
Critérios			

FLEXIBILIDADE			
- O método/ metodologia pode ser utilizado em sistemas de produção diferentes (intensiva, extensiva, semi intensiva, RAS)?			
- O método/ metodologia pode ser utilizada em diferentes tipos de produção (monocultivo, policultivo, ITMA)			
- O método/ metodologia permite adaptação?			
ACESSIBILIDADE			
- O método/ metodologia necessita de conhecimento técnico específico para ser utilizada?			
- Os conhecimentos necessários são especializados ou de alta complexidade?			
- O custo para obtenção dos equipamentos e/ ou conhecimento são elevados?			
PRECISÃO			
- O método/ metodologia é capaz de apresentar dados			

de emissão de GEE com exatidão?			
- O método/ metodologia utiliza de técnicas que possibilitam a precisão da coleta das amostras?			
- O método/ metodologia permite identificar corretamente as fontes de emissão?			
FACILIDADE NO USO/ IMPLEMENTAÇÃO			
- O método/ metodologia exige equipamentos/instrumentos complexos?			
- O método/ metodologia exige protocolos complexos?			
- O método/ metodologia exige manutenção complexa?			

3. RESULTADOS

A partir da análise do material coletado serão apresentados neste capítulo os resultados encontrados tanto com relação a caracterização dos artigos, como as principais informações dos estudos.

3.1 Distribuição temporal das publicações encontradas

Por meio do protocolo de pesquisa sistemática foram encontrados o total de oito artigos científicos que relacionam a aquicultura com a pegada de carbono. Na Figura 2 é possível visualizar o espaço temporal em que os artigos resultantes do levantamento realizado foram publicados. O artigo mais antigo é do ano de 2013 (Adhikari *et al*, 2013), dois artigos datam do ano de 2016 (Anikuttan *et al*, 2016; Zhu *et al*, 2016) e uma publicação nos anos de 2017 e 2019 (Xiong *et al*, 2017; Rutegwa *et al*, 2019). Por fim, os estudos mais recentes datam de 2020 com duas publicações (Kosten *et al*, 2020; Flickinger *et al*, 2020) e uma publicação em 2021 (Zhou *et al*, 2021).

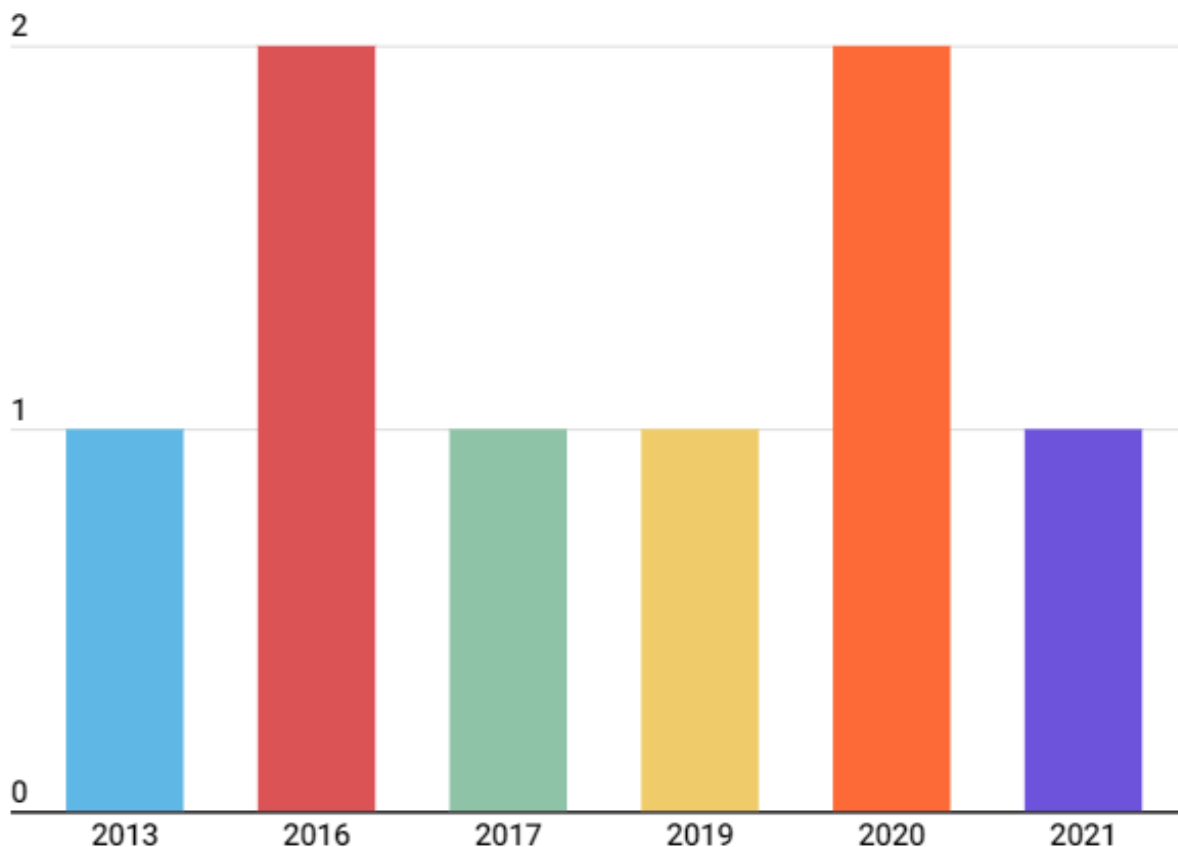


Figura 2. Distribuição temporal dos estudos selecionados para a Revisão Sistemática sobre Pegada de Carbono na aquicultura continental

3.2 Localização geográfica dos artigos selecionados

Com relação aos locais onde os estudos foram realizados, a identificação indica que o país com maior número de pesquisas voltadas para o tema foco desta revisão sistemática é a China, com três artigos, o restante dos artigos foi de pesquisas executadas em outros países como a Índia, a República Tcheca e o Brasil (Figura 3).

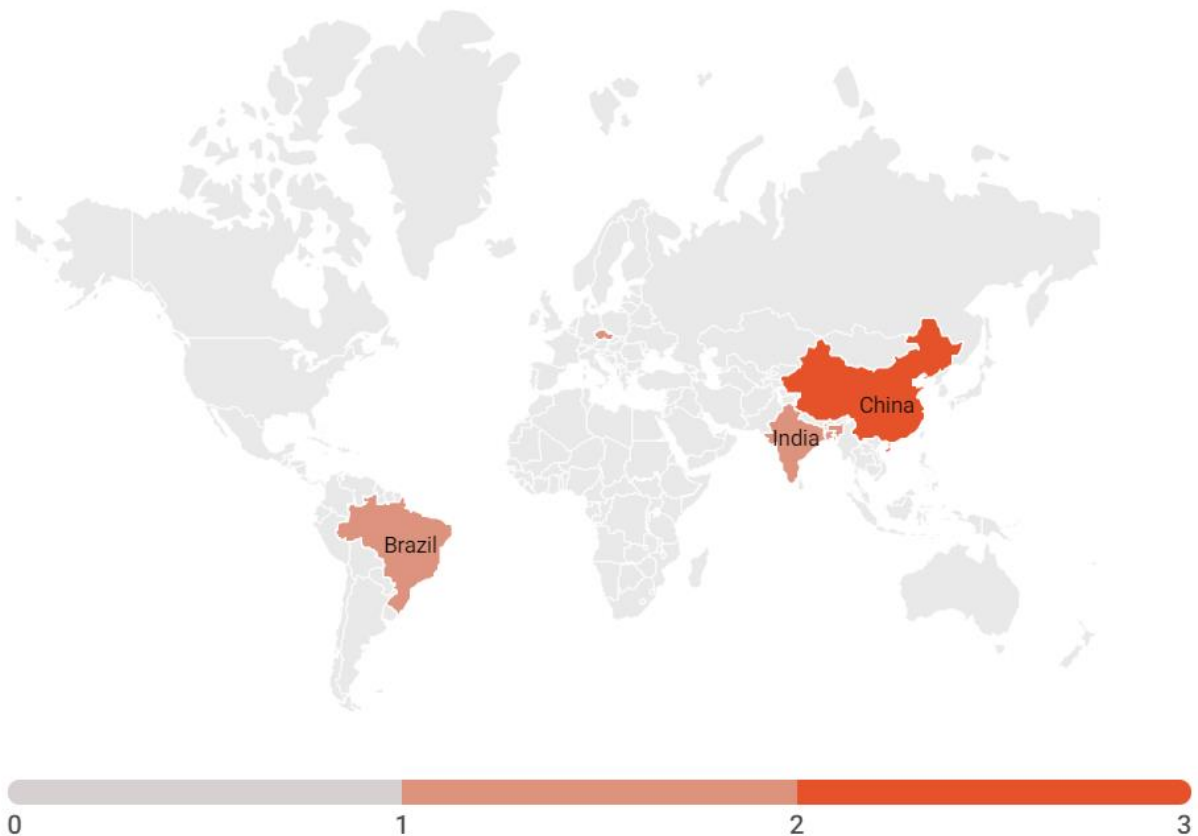


Figura 3. Mapa com referência dos locais em que as pesquisas foram realizadas nos oito estudos selecionados para a Revisão Sistemática.

3.3 Palavras-chaves predominantes

Na Figura 4 são apresentados os termos utilizados nos estudos selecionados nesta revisão e o tamanho de cada termo relaciona-se com que foram utilizadas nestes estudos. Nesta imagem a representação se dá pelos termos completos utilizados, como por exemplo “carbon sequestration” ou “aquaculture pond”.

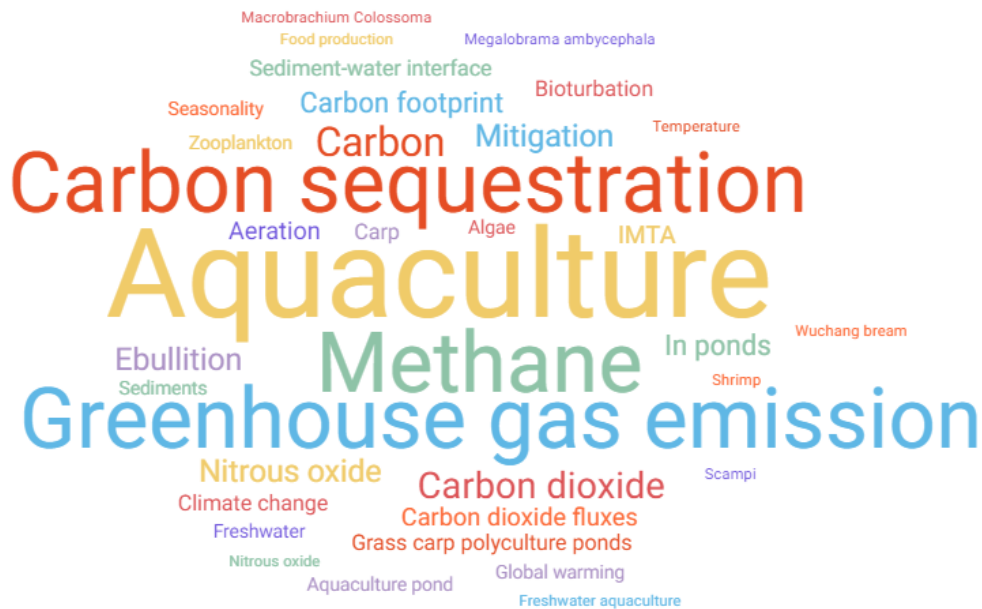


Figura 4. Principais termos utilizados como palavras-chaves nos oito artigos selecionados para a Revisão Sistemática.

3.4 Espécies utilizadas nos estudos dos artigos selecionados

Na análise dos documentos coletados foi possível perceber a predominância de espécies da família dos Ciprinídeos (Cyprinidae) 59,4% das pesquisas utilizaram diferentes espécies de carpas, desde as mais conhecidas como o *Cyprinus carpio* e a *Aristichthys nobilis*, e espécies mais difundidas na Ásia, no caso *Megalobrama amblycephala*, *Catla catla*, *Labeo rohita* e *Cirrhinus mrigala*. Na Tabela 4 estão descritas as espécies conforme a ordem a qual pertencem e que estão representadas na imagem (Figura 5).

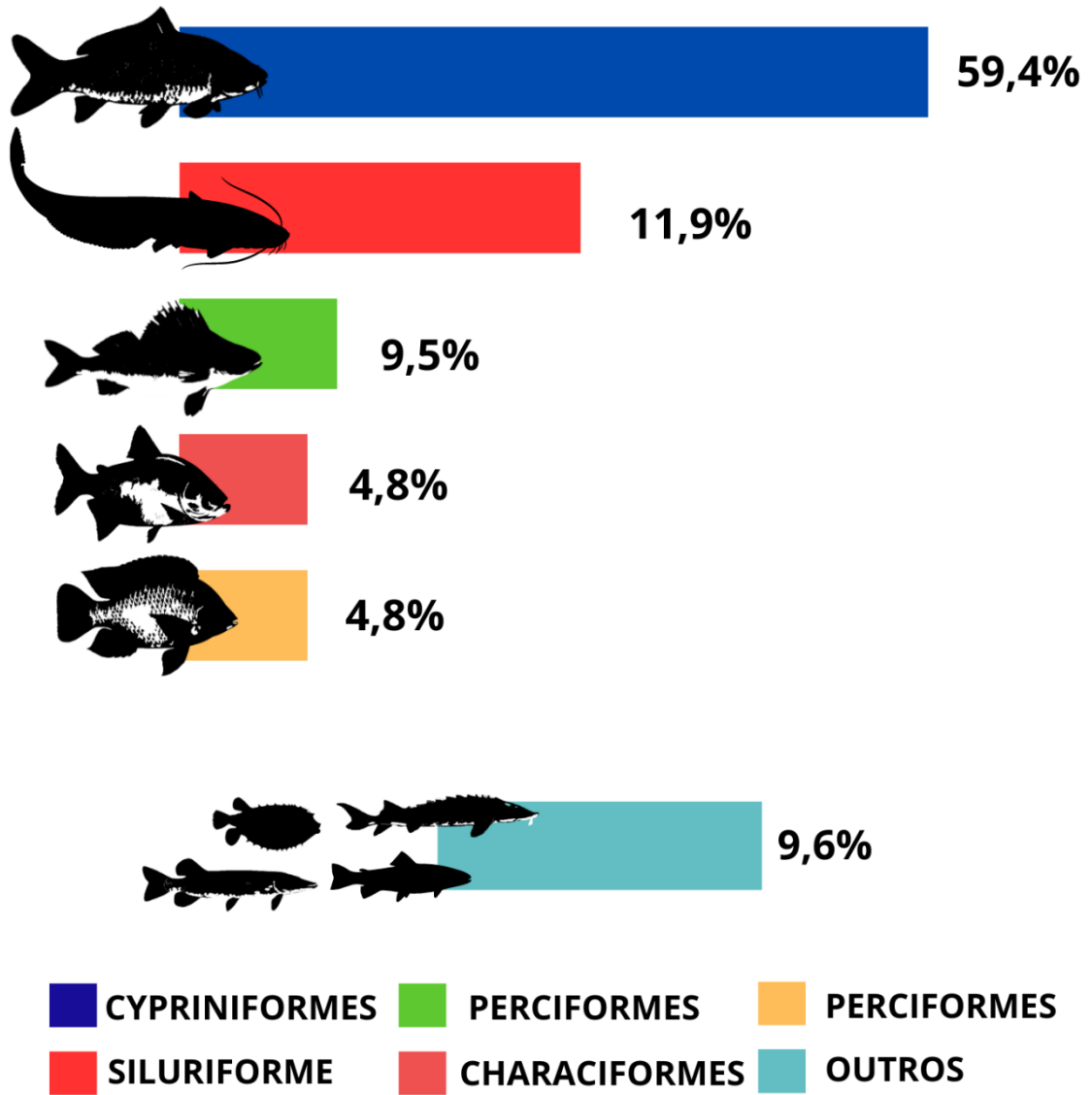


Figura 5. Representatividade das espécies encontradas nos artigos selecionados

Tabela 4. Detalhamento das espécies de acordo com sua respectiva ordem.

Cypriniformes	Siluriforme	Perciformes	Characiformes	Cichliformes	Outros
Carpa comum (<i>Cyprinus carpio</i>) Mrigal (<i>Cirrhinus mrigala</i>) Carpa cabeçuda (<i>Aristichthys nobilis</i>) Carpa prateada (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>) Catla (<i>Catla catla</i>) Pargo Wuchang (<i>Megalobrama amblycephala</i>) Rohu (<i>Labeo rohita</i>) Black carp (<i>Mylopharyngodon piceus</i>) Bream (<i>Parabramis pekinensis</i>) Carpa capim (<i>Ctenopharyngodon idella</i>) Carpa prussiana (<i>Carassius gibelio</i>) Crucian carp (<i>Carassius auratus</i>) Grass carp (<i>Ctenopharyngodon idellus</i>) Koi carp (<i>Cyprinus rubrofuscus</i>) Pond loach (<i>Misgurnus anguillicaudatus</i>) Willow shiner (<i>Gnathopogon caeruleus</i>)	Catfish (<i>Ictalurus punctatus</i>) Longsnout catfish (<i>Leiocassis longirostris</i>) Yellow catfish (<i>Pelteobagrus fulvidraco</i>)	Cabeça-de-cobra (<i>Channa argus</i>) Mandarin fish (<i>Siniperca chuatsi</i>) Peixe mandarim (<i>Siniperca chuatsi</i>) Perca européia (<i>Perca fluviatilis</i>)	Freshwater spadefish (<i>Colossoma brachypomum</i>) Tambaqui (<i>Colossoma macropomum</i>)	Tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>) Tilapia (<i>Oreochromis mossambicus</i>)	Esturjão-chinês (<i>Acipenser sinensis</i>) Northern pike (<i>Esox Lucius</i>) Pufferfish (<i>Tetraodontidae</i>) Truta

3.5 Relação de autoria e coautoria

Com a utilização do software de análise bibliométrica VOSViewer buscou-se identificar as relações entre os grupos de pesquisas dos artigos selecionados. Mesmo com uma quantidade pequena de artigos selecionados é interessante verificar as relações entre os estudos e buscar informações ou resultados convergentes (Figura 6).

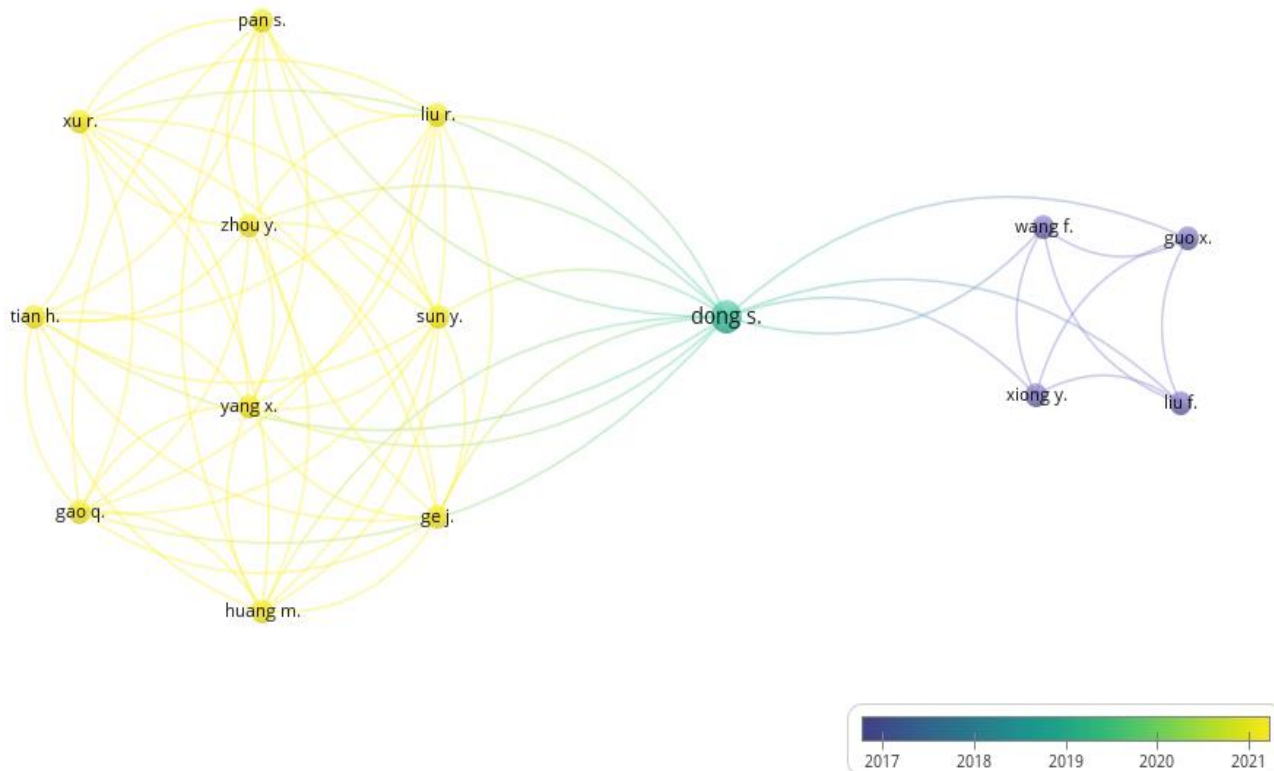


Figura 6. Relação entre os autores e seus grupos de pesquisas, observados nos oito artigos selecionados para a Revisão sistemática.

3.6 Métodos utilizados

Os estudos selecionados buscaram medir a emissão de GEE nos centros de produção e, mais especificamente, nos próprios tanques de produção, como é possível observar na Figura 8.



Figura 7. Relação entre os oito artigos e os métodos utilizados, que foram identificados na Revisão Sistemática.

Foram encontradas três metodologias predominantes: câmara estática, análise de sedimentos e balanço de carbono os quais estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5. Descrição dos métodos utilizados para mensurar emissões de de GEE encontrados nos artigos selecionados.

METODOLOGIA	CONCEITO	CARACTERÍSTICAS
Câmara estática <i>(Static floating chambers)</i>	Equipamento utilizado para mensurar o fluxo de gases de uma interface água-ar em produções aquícolas que pode ser adaptado com materiais distintos e,	Facilidade na instalação e operacionalidade, podendo inclusive ser utilizada em diferentes tipos de tanques.

	portanto, possui um baixo custo.	
Análise de sedimentos	Técnica baseada em análises laboratoriais a partir da coleta de amostras de resíduos, material orgânico da própria água e busca identificar concentrações de GEE.	Técnicas e conhecimentos amplamente consolidados, capaz de identificar as condições e a qualidade da matéria orgânica
Balço de carbono	Metodologia que busca compreender os fluxos de entrada e saída de carbono do sistema envolvendo cálculos que sugerem emissões e concentração – sequestro de carbono – no processo de produção.	Metodologia abrangente, precisa e flexível, além disso consegue ser bem adaptável

As câmaras estáticas flutuantes podem ser encontradas em diferentes formatos e modelos, inclusive com a utilização de materiais adaptados. Na Figura 8 é possível verificar dois tipos diferentes de câmaras estáticas flutuantes utilizadas em sistemas aquícolas.



Fonte: Vasanth *et al.*, 2016



Fonte: Lazar *et al.*, 2016

Figura 8. Modelos de câmaras estáticas flutuantes (Static floating chambers) utilizadas em sistemas aquícolas.

3.7 Emissões registradas

Os artigos apresentaram em seus resultados as emissões mensuradas nas pesquisas realizadas, no entanto estas emissões foram registradas unidades de medidas distintas considerando, inclusive, a diferença entre os métodos utilizados para realizar as medições.

Em Kosten *et al* (2020), considerando a metodologia utilizada pelos autores, o estudo apresenta emissões mensuradas por outros estudos e que variaram entre 1,4 e 2,1 kg CO₂-eq kg de peso vivo⁻¹. Em Adhikari *et al* (2016) a relação entre as emissões geradas pelos *inputs* (ração, fertilizantes) no sistema de produção com as saídas (peixe vivo) do sistema resultou em uma variação de 1,49 a 1,70 kgC/ha. O foco do estudo realizado por Rutegwa *et al* (2019) foi identificar as emissões de CH₄ nos tanques de produção, os autores apresentaram uma variação de $1,3 \pm 0,9 \mu\text{M}$ e $0,8 \pm 0,8 \mu\text{M}$ nas concentrações médias de CH₄.

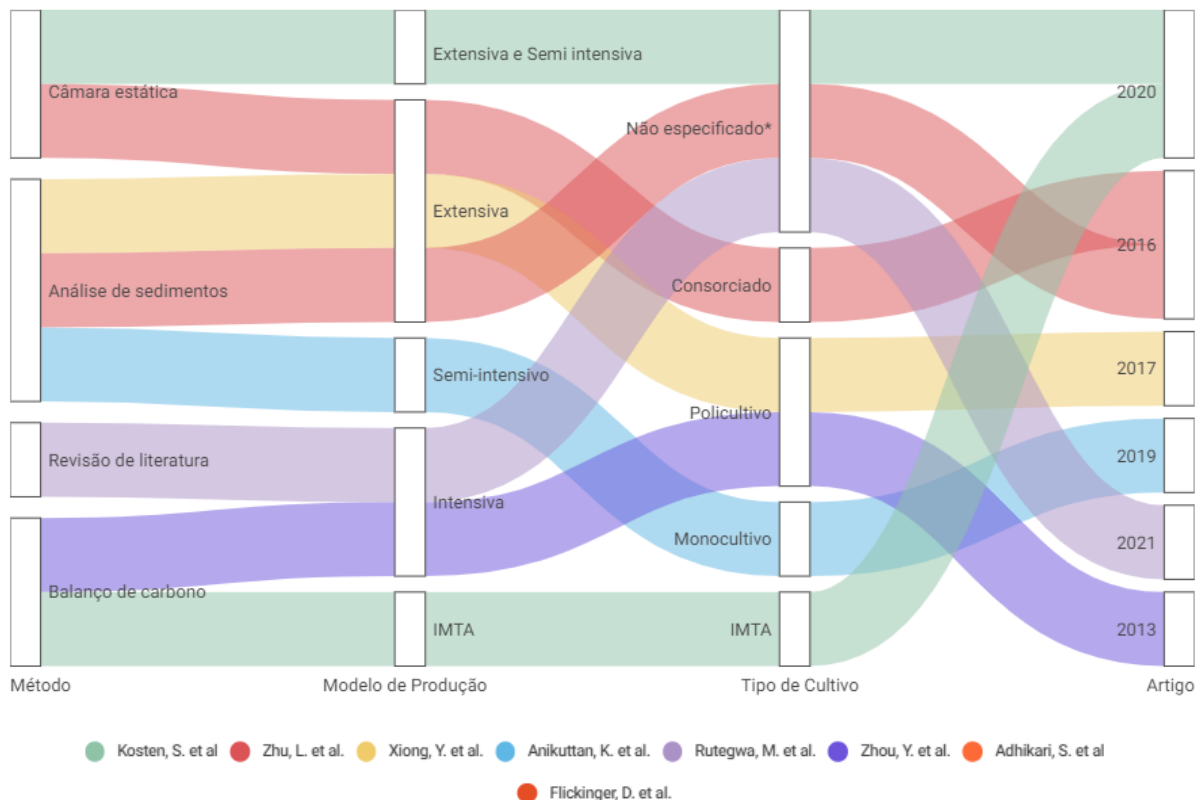
O levantamento realizado na pesquisa de Zhou *et al* (2021) apresentou os fatores de emissão das espécies utilizadas no estudo e resultou em uma variação de $0.79 \pm 0.23 \text{ g N}_2\text{O kg}^{-1} \text{ animal}$ to $2.41 \pm 0.14 \text{ g N}_2\text{O kg}^{-1} \text{ animal}$. EM Zhu *et al* (2016) os fluxos de emissões registradas foram de $278.54 \pm 36.41 \text{ g/m}^2$ para CO₂, $23.73 \pm 5.27 \text{ g/m}^2$ para CH₄ e $1.69 \pm 0.32 \text{ g/m}^2$ para N₂O.

Em Xiong *et al* (2017) os fluxos de CO₂ mensurados são apresentados com uma variação entre 10,86 a 67,71 mmol m⁻² d⁻¹, e os fluxos de CH₄ variaram entre 0,25 a 5,29 mmol m⁻² d⁻¹.

No estudo de Anikuttan *et al* (2016) o objetivo foi identificar a capacidade de sequestro de carbono pelos sedimentos dos tanques de criação de peixes e chegou-se a uma taxa de 1,0 MgC/ha/ano. Da mesma forma, o artigo de Flickingera *et al* (2020) traz dados sobre o sequestro do carbono nos sistemas analisados com absorção de CO₂ atmosférico variando de 529 a 782 kg C-CO₂ ha⁻¹ sendo superior aos dados de emissões registrados para CO₂ (~35 – 93 kg C-CO₂ ha⁻¹) e para CH₄ (~14 – 123 kg C-CH₄ ha⁻¹).

3.8 Síntese das pesquisas encontradas

Embora o número final de artigos selecionados seja baixo, foram identificadas características distintas quanto aos tipos de pesquisa realizadas, procedimentos, sistemas de produção e outras características pertinentes aos experimentos realizados, os quais estão apresentados na Figura 9 e, na Tabela 6, é apresentada uma síntese das informações dos estudos analisados.



* O tipo de cultivo classificado como “não especificados” refere-se a artigos com pesquisas realizadas em uma grande variabilidade de sistemas ou que não trouxeram a informação especificada no texto.

Figura 9. Relação entre os artigos, tipo de cultivo, modelo de produção e métodos utilizados encontrados nos oito artigos analisados nesta Revisão Sistemática.

Tabela 6. Resumo das principais informações dos artigos selecionados para a revisão sistemática.

ARTIGO	AUTORES	ANO	ESPÉCIE*	MODELO DE PRODUÇÃO	MÉTODO
Better assessments of greenhouse gas emissions from global fish ponds needed to adequately evaluate aquaculture footprint	Kosten, S. <i>et al</i>	2020	<i>C. carpio</i> , <i>C. gibelio</i> , <i>M. amblycephala</i>), <i>C. mrigala</i> , <i>S.iniperca chuatsi</i> , <i>O. niloticus</i> , <i>I. punctatus</i>), <i>G. caerulescens</i> , <i>C. rubrofuscus</i>	Extensiva, intensiva e semi-intensivas	Uso de armadilhas de ebulição
Carbon dioxide and methane fluxes across the sediment-water interface in different grass carp <i>Ctenopharyngodon idella</i> polyculture models	Xiong, Yinghuai <i>et al.</i>	2017	<i>C. idella</i> , <i>H. molitrix</i> , <i>A. nobilis</i>	Extensiva	Análise dos sedimentos
Carbon footprint of aquaculture in eastern India	Adhikari, Subhendu <i>et al.</i>	2013	<i>C. catla</i> , <i>L. rohita</i> , <i>C. mrigala</i>	Intensiva?	Balço de carbono – entradas e saídas
Carbon sequestration capacity of sediments, algae, and zooplankton from fresh water aquaculture ponds	Anikuttan, K.K. <i>et al.</i>	2016	<i>C. catla</i> , <i>L. rohita</i> e, <i>C. mrigala</i>	Extensiva	Análise dos sedimentos, algas e zooplanctons
Diffusive methane emissions from temperate semi-intensive carp ponds	Rutegwa, M. <i>et al.</i>	2019	<i>C. carpio</i> , <i>E. Lucius</i>	Semi-intensivo	Análise de sedimentos Análise físico-química da água

Four decades of nitrous oxide emission from Chinese aquaculture underscores the urgency and opportunity for climate change mitigation	Zhou, Y. <i>et al.</i>	2021	<i>A. sinensis</i> , <i>O. mossambicus</i> , <i>C. argus</i> , <i>Perca fluviatilis</i> , <i>S. chuatsi</i> , <i>L. longirostris</i> , <i>C. brachypomum</i>), <i>Tetraodontidae</i> , <i>Truta</i> , <i>P. fulvidraco</i> , <i>I. punctatus</i> , <i>I. punctatus</i> , <i>M. piceus</i> , <i>C.odon idellus</i> , <i>C. carpio</i> , <i>C. auratus</i>), <i>P. pekinensis</i> , <i>M. anguillicaudatus</i>	Intensiva	Revisão de literatura que apresenta resultados em um período de quarenta anos
Greenhouse gas emissions and comprehensive greenhouse effect potential of <i>Megalobrama amblycephala</i> culture pond ecosystems in a 3-month growing season	Zhu, L. <i>et al.</i>	2016	<i>M. amblycephala</i> , <i>H. molitrix</i> , <i>A. nobilis</i>	Extensiva	Câmara estática Análise simultânea de emissões de CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O pelo cromatógrafo a gás Agilent 6890
The budget of carbon in the farming of the Amazon river prawn and tambaqui fish in earthen pond monoculture and integrated multitrophic systems	Flickingera, D. <i>et al.</i>	2020	<i>Colossoma macropomum</i>	Intensiva – Sistema multitrófico integrado (IMTA)	Balanço de carbono – entradas e saídas

* alguns artigos utilizaram na pesquisa outras espécies de água doce como o camarão, porém no quadro estão apresentadas somente as espécies de peixes.

Como resultado da análise das metodologias encontradas a partir dos critérios estabelecidos na tabela de exequibilidade (Tabela 3) foi possível inferir que todas metodologias obtiveram pontuação máxima quanto ao critério de flexibilidade (Tabela 6). No entanto quanto aos critérios de abrangência e precisão a análise de sedimentos teve desempenho inferior às outras metodologias. Observa-se ainda que o fluxo de entrada e saída de carbono obteve desempenho superior na escala geral.

Tabela 7. Resultado da análise dos critérios de exequibilidade para avaliação da Metodologia adotada nos artigos que foram relacionados na revisão sistemática



MÉTODO/ METODOLOGIA	FLEXIBILIDADE	ACESSIBILIDADE	PRECISÃO	FACILIDADE NO USO/ IMPLEMENTAÇÃO
Câmara estática flutuante	5	3	3	5
Análise de sedimentos	3	3	1	3
Fluxo de entrada e saída de carbono	5	5	5	3

4. DISCUSSÃO

Em uma análise macroscópica desta Revisão Sistemática, dos oito artigos selecionados foi evidente a variabilidade entre eles quanto às espécies utilizadas, os meios para mensurar a emissão de carbono, etapas do processo e locais de estudo. Entretanto, foi possível observar que 62,5% dos artigos destacaram em suas conclusões a necessidade de ampliar as pesquisas quanto às emissões e sequestro de carbono na aquicultura continental. Tomando como exemplo os artigos de Anikuttan *et al* (2016) e Zhu *et al* (2016) a sugestão é que foco das novas pesquisas estejam concentradas em encontrar estratégias para reduzir as emissões e aumentar os sumidouros, bem como compreender as consequências envolvidas destes processos. Rutegwa *et al* (2019) estabeleceram que os trabalhos futuros devem ter como objetivo quantificar as emissões de CH₄ para compreender especificamente a contribuição das carpas nessas emissões. Já em Flickinger *et al* (2020) sugerem que o objetivo de novas pesquisas investigue a compreensão da absorção do carbono orgânico e a ação da bioturbação² das espécies para os processos biológicos nos sedimentos. Por fim, Kosten *et al* (2020) sugere que novos estudos incorporem as vias de emissão não contabilizadas para obter estimativas mais precisas, destacando também que é primordial desenvolver uma estrutura metodológica capaz de aprimorar a coleta de amostragens e prever com maior segurança as emissões totais de GEE na aquicultura.

Foi possível perceber a partir do mapa de coautoria que os poucos grupos de pesquisa existentes estão relacionados a partir de um autor que contribui com ambos e, portanto, é possível inferir que o tema ainda está sendo discutido em grupos muito restritos e isolados de pesquisadores. Este viés tem por obviedade a natureza recente da abordagem de sustentabilidade na produção animal. Grupos de pesquisa que iniciam uma abordagem de linha de pesquisa nova, iniciam uma caminhada penosa em busca da construção do conhecimento.

Comparando as publicações relacionadas a aquicultura de peixes de água doce com aquicultura marinha foi possível identificar grande intervalo entre os

² Bioturbação é um processo de alteração físico-química do solo a partir da ação de organismos, como minhocas e térmitas. Esse processo é importante para a manutenção das condições do solo e o fornecimento de água e nutrientes para as plantas. Além disso, a bioturbação pode ajudar a recuperar áreas degradadas (Wilkinson *et al.*, 2009)

anos em que os primeiros estudos relacionados às emissões de gases de efeito estufa foram publicados. Com base nas chaves utilizadas para a pesquisas nas bases de dados selecionadas – Scopus, Web Of Science e PubMed, o primeiro artigo encontrado que apresentou uma pesquisa com abordagem em emissões de GEE na aquicultura marinha datado do ano de 2000. Este artigo, sob o título “Symbiont-bearing foraminifera: harbingers of global change?” a autora Pamela Hallock busca compreender como os foraminíferos bentônicos podem ser afetados pelas mudanças climáticas. Ainda dentro dos parâmetros utilizados nesta revisão, o artigo “Carbon footprint of aquaculture in eastern India” (ADHIKARI *et al.*, 2013) foi o primeiro artigo que abordou diretamente a pegada de carbono na aquicultura continental.

4.1 Predominância geográfica das publicações

A localização das pesquisas encontradas coincide com dados referentes aos volumes de produção de peixes. O país com maior representatividade nas pesquisas encontradas foi a China, seguido da Índia que além do pescado ser um hábito alimentar frequente, possuem características similares dentre as quais: altos índices demográficos, baixo IDH e baixa renda per capita. Tais fatores acabam contribuindo também para o alto consumo de alimentos aquáticos, uma vez que representam uma alternativa mais barata e acessível de proteína animal que outras fontes como a bovina ou a suína (FAO, 2022). Corroborando com este dado, o relatório da FAO - Fisheries and Aquaculture de 2022 indica que a Ásia continua sendo o maior consumo de alimentos aquáticos. Só em 2019, chegou a 72% dos 158 milhões de toneladas produzidas, o equivalente a 24,5 kg per capita. Com grande demanda e conseqüentemente esforços em atender o consumo, percebe-se que há um esforço também em desenvolver sistemas produtivos mais sustentáveis, bem como em realizar pesquisas com o intuito de identificar as principais fontes de emissão de GEE na aquicultura (Xu *et al.*, 2022; Chen *et al.*, 2023).

4.2 Volume de publicações

Com chaves de buscas específicas identificando estudos de pegada de carbono na aquicultura continental de água doce, o número de publicações

encontradas por ano foi baixo. No entanto houve uma regularidade com a média de pelo menos um artigo por ano desde 2016. No ano de 2020 dois artigos foram publicados com a abordagem de pesquisa sugerida nesta revisão. Porém ao considerar o período de pandemia entre 2019 a 2022, em que diversos setores tiveram suas atividades suspensas, é possível que este número tenha um crescimento nos anos subsequentes sendo recomendado no futuro uma nova pesquisa com as chaves de busca desta revisão para um melhor entendimento neste sentido.

4.3 Espécies pesquisadas

O artigo de Zhou (2016) contempla uma pesquisa realizada com 21 espécies de peixes de água doce e, portanto, possui uma alta variabilidade de espécies que inclui diferentes Carpas, Tilápia, Bagres, dentre outros. Por outro lado, quase 60% das espécies são da família dos Ciprinídeos, não por acaso é o grupo mais produzido na aquicultura mundial (FAO, 2022). É importante ressaltar que os percentuais não estão relacionados a frequência de cada espécie nos 8 artigos.

Quanto a fase de vida das espécies pesquisadas, apenas os autores Rutegwa *et al* (2019) e Zhu *et al* (2016) mencionam a fase de crescimento em que os peixes se encontravam no momento da medição. No primeiro foram realizadas as medições em juvenis das espécies de Carpa e *Esox Lucius*, enquanto em Zhu *et al* (2016) foram utilizados alevinos da espécie Wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*) em um cultivo consorciado com as espécies de Carpa prateada e Carpa cabeçuda, as quais não foram especificadas a fase de criação.

4.4 Metodologias e procedimentos utilizados

O protocolo utilizado para esta revisão sistemática teve como intuito identificar a presença de metodologias para quantificar a pegada de carbono na aquicultura continental. A partir disso, ampliar a visão acerca do potencial sustentável que a atividade pode gerar ou contribuir enquanto produção de proteína animal. Logo, comparando estas metodologias o objetivo foi identificar

aquela com maior potencial para ser aprimorada e replicada em diferentes contextos de produção aquícola em água doce. Porém, na análise dos estudos foi possível verificar apenas a utilização de métodos para mensurar as emissões de GEE. Assim, os estudos coletados apresentaram métodos que serviram para a coleta e análise da emissão dos GEE, muito embora estes métodos e dados não foram incorporados a uma metodologia mais abrangente para estabelecer um resultado quanto às emissões provenientes de todo sistema produtivo, mesmo não sendo específica para a pegada de carbono. Diante disto, entende-se que há uma diferenciação entre as metodologias utilizadas para mensurar a emissão de carbono e as metodologias mais abrangentes voltadas a calcular a pegada de carbono.

4.5 Análise comparativa dos métodos encontrados

Observou-se que os artigos apresentaram poucas informações acerca do contexto em que as pesquisas foram realizadas. Embora o foco da busca foi identificar as metodologias utilizadas nos estudos, informações como a fase do peixe e as características do ambiente utilizado para produção foram apresentadas parcialmente ou até mesmo ausentes na metodologia dos estudos. Mesmo o artigo Kosten *et al* (2020), que apresenta uma revisão de outros estudos, não realizou esta classificação e concentrou-se em comparar os dados de emissão de CH₄ e N₂O.

Nas pesquisas de Kosten (2020) e Zhu (2016) foram utilizados instrumentos citados pelos autores como *static chambers* (câmara estática) e *floating chambers* (câmara flutuante), totalizando duas ocorrências. Considerando a descrição da utilização do método inferiu-se que ambos se referem ao mesmo tipo de equipamento e que podem ser utilizadas de formas distintas – ancoradas ou à deriva (Lorke, 2015). Esse é um método capaz de mensurar o fluxo de gases de uma interface água-ar em produções aquícolas (Yang, 2021) por meio da utilização de um equipamento e que permite realizar medições pontuais de emissão de GEE (Mannich, 2019).

No artigo de Zhu *et al.* (2016) foram analisados os fluxos de GEE em tanques de cultivo da espécie *M. amblycephala* por meio da coleta de amostragens com uma câmara estática. O uso desta metodologia pelos autores

pode ter sido decidido em função das câmaras estáticas flutuantes serem amplamente utilizadas como método para mensurar a emissão de GEE em áreas alagadas e inclusive em regiões de difícil acesso (EMBRAPA, 2018). Além disso, segundo estudos realizados por Mannich (2013), este instrumento pode ser adaptado com materiais distintos o que possibilita sua instalação com baixo custo e facilidade na instalação e operação. Isso corrobora com a informação obtida nesta revisão com relação aos países de origem dos estudos, neste caso a China, pois em países em desenvolvimento tendem utilizar tecnologia de menor custo. Existe uma praticidade de uso da câmara estática podendo ser instalada em diferentes tipos de tanques e áreas de produção. Neste caso para o estudo de Zhu *et al.* (2016) permitiu seguramente a aplicação desta metodologia conferindo também flexibilidade de utilização. Outro ponto que consideramos relevante para o uso da câmara estática, de acordo com os artigos analisados, diz respeito a abrangência quanto aos atores que produzem GEE. Neste caso, Kosten *et al.* (2020) cita como exemplo matéria orgânica originária do depósito de ração não consumida, fezes dos peixes ou até mesmo da produção primária de organismos aquáticos nos viveiros.

Foi possível perceber que quatro artigos coletados tiveram suas pesquisas realizadas em modelos produtivos extensivos. Já a utilização da metodologia de balanço de carbono foi utilizada em modelos de produção do tipo intensiva e multi trófica integrada.

Embora esta seja alternativa mais utilizada para mensurar a emissão de GEE em sistemas aquícolas em geral – incluindo a aquicultura continental –, Mannich *et al.* (2019) apontam que existem incertezas nas medições realizadas pelo instrumento. Neste caso os autores relatam a influência de fatores como as dimensões da própria câmara e condições ambientais do local, sugerindo que há necessidade de buscar uma padronização do equipamento e que tais condições ambientais precisam estar relatadas para evitar subestimar ou superestimar as emissões.

Talvez o maior problema no uso da câmara estática seja a subestimação da produção de GEE de acordo com Kosten *et al.* (2020), pois neste caso boa parte das medições para estimar o carbono são efetuados apenas nos fluxos entre água e atmosfera. Então, as emissões oriundas da ebulição nos processos de drenagem e recarga ou dos sedimentos existentes nesses tanques não são

consideradas. Essa observação é corroborada no estudo de Zhu *et al.* (2016) que constataram não ter havido alteração nas emissões de N₂O na lagoa durante o monitoramento do cultivo de *M. amblycephala*. Neste estudo durante o período de secagem ocorreu um expressivo aumento na emissão de CO₂ e CH₄. Tan *et al.* (2021), consideram a câmara estática como de baixa abrangência e propõe que o seu uso tem maior eficiência em locais pequenos e médios e que é preciso ter medições em diferentes horários do dia para obtenção de uma média.

Os exemplos reportados de subestimação quanto ao uso de câmara estática para medição do GEE podem ser considerados preocupante para a aquicultura. De acordo com a revisão de Kosten *et al.* (2020), os autores consideram uma ideia distorcida que estes sistemas de produção aquícola continental produzem baixa emissão de GEE, por desconsiderarem o sistema como um todo de forma mais abrangente. Estes autores atribuem a necessidade de adaptações, práticas, rotinas ou investimentos em equipamentos capazes de reduzir as emissões de gases, especialmente do metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O). Por fim completam que a pegada de carbono em peixes cultivados, incluindo a contribuição da ebulição dos tanques, poderá chegar a da carne suína e até da carne bovina.

Outros dois artigos utilizaram métodos baseados no cálculo das entradas e saídas de carbono no sistema (Adhikari *et al.*, 2016; Flickinger *et al.*, 2020). Do total, três artigos concentraram-se em analisar os sedimentos dos tanques de aquicultura (Xiong *et al.*, 2017; Rutegwa *et al.*, 2019; Anikuttan *et al.*, 2016), sendo que um destes realizou análise de algas e zooplânctons (Anikuttan *et al.*, 2016). Um dos artigos (Zhou *et al.*, 2021) buscou dados de emissões já registradas e divulgadas em literatura oficial e, portanto, considerou-se como uma revisão de literatura já que os métodos não foram identificados e descritos. Embora artigo de Kosten *et al.* (2020) tenha baseado suas análises em um conjunto de publicações, este não foi considerado como uma revisão de literatura uma vez que todas as pesquisas utilizadas tiveram como método a câmara estática ou flutuante.

O outro método encontrado foi a análise dos sedimentos por meio da avaliação dos parâmetros ambientais das amostras coletas dos tanques de criação. Esse método pressupõe uma análise laboratorial onde são identificadas as concentrações de GEE nas amostras (Avnimelech, 1981, Boyd, 1995) e foi

observado em 37,5% dos artigos considerados para a Revisão Sistemática. No estudo de Anikuttan *et al.* (2016) foi estudada a capacidade de sequestro de carbono provenientes de sedimentos, algas e zooplâncton em sistemas de aquicultura de água doce. Neste estudo os autores chegaram a conclusão que os zooplânctons apresentaram maior concentração de carbono orgânico, enquanto as algas, em maior quantidade nos tanques, sequestraram um montante maior de carbono por hectare.

As pesquisas de Rutegwa *et al* (2019) e Xiong *et al* (2017) utilizaram primordialmente a metodologia de análise de sedimentos, mas analisaram em conjunto os parâmetros físico-químicos da água para mensurar o CH₄ na superfície dos tanques.

Com a pesquisa de Rutegwa (2019) foi possível obter dados referentes às emissões de metano (CH₄) em uma produção semi-intensiva de Carpa Comum (*Cyprinus carpio*). Os locais não foram especificados com descrições mais detalhadas. Não se tem, por exemplo, a definição ou diferenciação entre viveiros e tanques. O estudo foi realizado durante uma estação de crescimento no que foi caracterizado pelos autores como três viveiros e três tanques. A leitura do estudo sugere que os viveiros correspondem aos locais onde são mantidos os alevinos. O experimento foi conduzido com taxas de alimentação distintas e dentre os resultados encontrados foi identificada a relação entre as emissões de CH₄ e a temperatura. Como conclusão os autores destacaram que há necessidades de outros estudos para quantificar o fluxo ebulitivo e outras vias de liberação de CH₄ para a atmosfera.

No estudo de Xiong *et al* (2017) os autores analisaram os fluxos de CO₂ e CH₄ em um sistema de policultivo de carpas (capim, prateada e cabeçuda). O estudo evidenciou a variação das emissões nos sistemas utilizados no experimento considerando as mudanças de temperatura ao longo de um determinado período.

O método de balanço de carbono, utilizado nos estudos de Adhikari *et al.* (2013) e Flickinger *et al.* (2020), mostrou-se mais abrangente, pois englobaram dados de emissão e concentração (sequestro de carbono) pelo sistema. Isso é possível porque o método permite os cálculos relativos às entradas e saídas de carbono do sistema e fornece resultados mais precisos quanto à pegada de carbono. Nesse sentido, o método é reconhecidamente preciso e flexível,

podendo ser aplicado a modelos distintos de produção. Um exemplo de aplicação deste método foi realizado na Índia por Adhikari *et al.* (2013) que quantificou a pegada de carbono de diferentes sistemas aquícolas – carpas, camarão e o policultivo com carpas e camarão. Como resultado, o estudo mostrou que 90% das emissões de carbono são provenientes da ração em todos os sistemas e o cultivo da carpa se mostrou o mais sustentável no nexo produção-insumo. Os dados de carbono equivalente referentes aos fertilizantes, a ração utilizada e demais insumos foram obtidas de pesquisas anteriores e o cálculo foi realizado utilizando os valores de entrada de carbono com relação a saída em kg do produto.

Embora Rutegwa *et al.*, 2019 tenha utilizado distintas combinação de análises de elementos como: sedimentos, algas e parâmetros físico-químicos da água, as pesquisas conduzidas por Flickinger *et al* (2020) e Adhikari (2013) sugerem uma inclusão de mais variáveis. Sendo assim, uma combinação incluindo: a) análise de diversos aspectos envolvidos no sistema como os parâmetros da água; b) análise dos sedimentos; c) matéria orgânica e d) animais do sistema, e ainda utilizando câmaras estáticas flutuantes para mensurar a emissão no fluxo água-ar, seria um modelo mais eficiente para a mensuração da pegada de Carbono para os sistemas aquícolas continentais. Esse é um método que abre um caminho para a elaboração de uma metodologia mais específica para a aquicultura com a possibilidade de formação de um banco de dados com espécies diferentes, sistemas produtivos diversos e até mesmo quanto a origem e eficiência dos insumos utilizados.

4.6 Metodologias assertivas para a aquicultura continental

Nos artigos de Rutegwa *et al.*, 2019; Kosten *et al.* (2020) os autores reforçam a conclusão de que um dos gargalos encontrados é a precisão das estimativas de emissão de GEE na aquicultura. Existe a necessidade de incluir outras vias de emissão – além daquelas quantificadas nos respectivos estudos – para obter dados mais completos nos tanques de produção reduzindo a incerteza e divergência de informações. Embora os artigos de Flickinger *et al* (2020) e Adhikari *et al.* (2013) tenha buscado reduzir essas incertezas ao estudar o ciclo do carbono nos tanques de produção, Anikuttan *et al*, 2016; Zhu *et al*,

2016; Rutegwa *et al*, 2019; Flickinger *et al*, 2020 e Kosten *et al*, 2020, ressaltam que outras pesquisas precisam ser conduzidas para compreender melhor as fontes de emissão e possíveis sumidouros presentes nos tanques de aquicultura. São conclusões como estas que sugerem a necessidade do desenvolvimento de uma metodologia mais adequada para quantificar emissões de GEE da aquicultura e dar subsídios ao setor para adequar-se às práticas de um novo mercado mais sustentável (Yuan *et al*, 2019; Shabir *et al*, 2023).

De forma geral, a contabilidade de carbono pode ser calculada por meio de métodos distintos. O estudo de Liu (2022) classifica os principais métodos utilizados e a comparação entre eles. O método de contabilidade de carbono baseado na produção basicamente calcula o carbono emitido por meio da energia utilizada durante o processo produtivo. O outro é a contabilidade baseada no consumo e é subdividida em dois métodos: análise do ciclo de vida e análise de entrada-saída. Outrossim, o artigo aponta o método de contabilidade em tempo real por meio da utilização de tecnologias de monitoramento do solo e de satélites.

Algumas metodologias já estabelecidas podem ser adaptadas e utilizadas para mensurar a pegada de carbono em sistemas produtivos com diferentes abordagens e limitações. Uma das metodologias mais utilizadas para a avaliação de sustentabilidade é o Life Assessment Cycle (LCA) que identifica os fatores de impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de um produto ou produzidos (Bohnes e Laurent, 2018). A ferramenta traz um conceito importante em sua avaliação ao considerar todo o ciclo produtivo, fazendo com que boa parte de sua ampla aceitação esteja ligada à abrangência que o instrumento propõe ao buscar informações em todas as etapas do processo produtivo e analisar o grau de influência que um determinado impacto ambiental com relação aos resultados produzidos (Bohnes, 2018). Ainda que o LCA tenha sido utilizado em pesquisas importantes para a avaliação de emissão de GEE (FAO, 2017; WANG, 2022), a ferramenta não é específica para quantificar a pegada de carbono e diferentes metodologias precisam ser desenvolvidas utilizando a mesma abordagem em avaliar integralmente os processos.

Outra metodologia conhecida como inventário de gases de efeito estufa tem uma abordagem mais focada em estabelecer e reduzir metas de GEE em

processos produtivos. A metodologia permite um mapeamento das fontes de emissão de GEE de atividades e processos de unidades, organizações ou de um setor econômico a partir da quantificação e posterior monitoramento e registros destas emissões. Derivada desta metodologia o World Resources Institute (WRI) em associação com o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) desenvolveu em 1998 o Protocolo de Gases de Efeito Estufa – Um Padrão Corporativo de Contabilização e Reporte (The Greenhouse Gas Protocol – A Corporate Accounting and Reporting Standard) também conhecido como GHG Protocol. A ferramenta surgiu a partir da parceria com diferentes *stakeholders* que integram empresas, organizações não governamentais, órgãos do governo e outras instituições ligadas ao WRI e WBCSD. O GHG Protocol se estabeleceu como uma ferramenta flexível composta por sete etapas e que pode ser utilizada em diferentes contextos industriais. No Brasil a Fundação Getúlio Vargas (FGV) adaptou o instrumento para as condições do país e vem atualizando as informações para garantir resultados mais precisos.

Outra possibilidade é a ferramenta Fish-e³ que a FAO disponibilizou para quantificar a pegada de carbono na aquicultura, a qual consiste em uma planilha eletrônica elaborada a partir dos dados da aquicultura mundial. O guia de utilização da ferramenta não apresenta os cálculos empregados, mas analisando as referências foi possível identificar o uso do conceito do LCA. A planilha é dividida em duas abas – “inputs” e “results” – além da aba “start” que apresenta informações gerais, instruções de uso e três itens a serem respondidos para parametrizar a ferramenta: país de origem, espécie cultivada e o tipo de produção. Embora a planilha possua uma aparência simples, os dados necessários na aba “input” exigem certo nível de organização das informações gerenciais da produção. Isso inclui a composição da ração utilizada, o uso da energia e de fertilizantes que podem ser incluídos para estimular a produtividade. A partir destes dados são calculadas as taxas de conversão alimentar e a partir da identificação das fontes emissoras é possível identificar os valores de emissões provenientes do uso de energia, combustíveis e dos fertilizantes.

3 Disponível em <https://www.fao.org/fishery/affris/affris-home/fish-e-faos-tool-for-quantifying-the-greenhouse-gas-emissions-arising-from-aquaculture/en/>. Acesso em: nov de 2022.

A ferramenta assemelha-se a um inventário de emissão de GEE, porém de forma simplificada e que não considera fatores como sedimentos, rejeitos, resíduos e efluentes. No entanto, como ponto positivo a utilização da planilha considera aspectos particulares e específicos de cada espécie produzida, região e tipo de produção.

4.7 Perspectivas de mercado para a aquicultura a partir da pegada de carbono

Os artigos de Kosten *et al.* (2020) e Zhou *et al.* (2021) ressaltam que a aquicultura precisa se posicionar como uma atividade ambientalmente segura e sustentável. No entanto, de acordo com Naylor *et al.* (2021) além de toda análise técnica e relativa aos métodos de coleta de informações sobre as emissões durante a produção, é necessário ampliar os estudos para uma visão mais abrangente e gerencial. Os autores entendem com isso entender como a aquicultura pode ganhar vantagem competitiva no mercado consumidor e investidor a partir do desenvolvimento de um escopo mais ambientalmente sustentável e com a possibilidade de gerar produtos de qualidade com menor pegada de carbono.

Embora tais análises sejam importantes do ponto de vista operacional para mensurar a emissão de GEE, não foi encontrado em nenhum dos artigos alguma abordagem relacionada a esta visão gerencial. Um exemplo de oportunidade a ser explorada é mercado de carbono, haja vista o potencial da aquicultura continental para integrar alguma cadeia produtiva com foco em sustentabilidade, tampouco foram discutidos abertamente nestas pesquisas as possíveis contribuições da aquicultura no mercado consumidor de proteína animal considerando sua baixa pegada de carbono (Figura 10) com relação a outros animais.

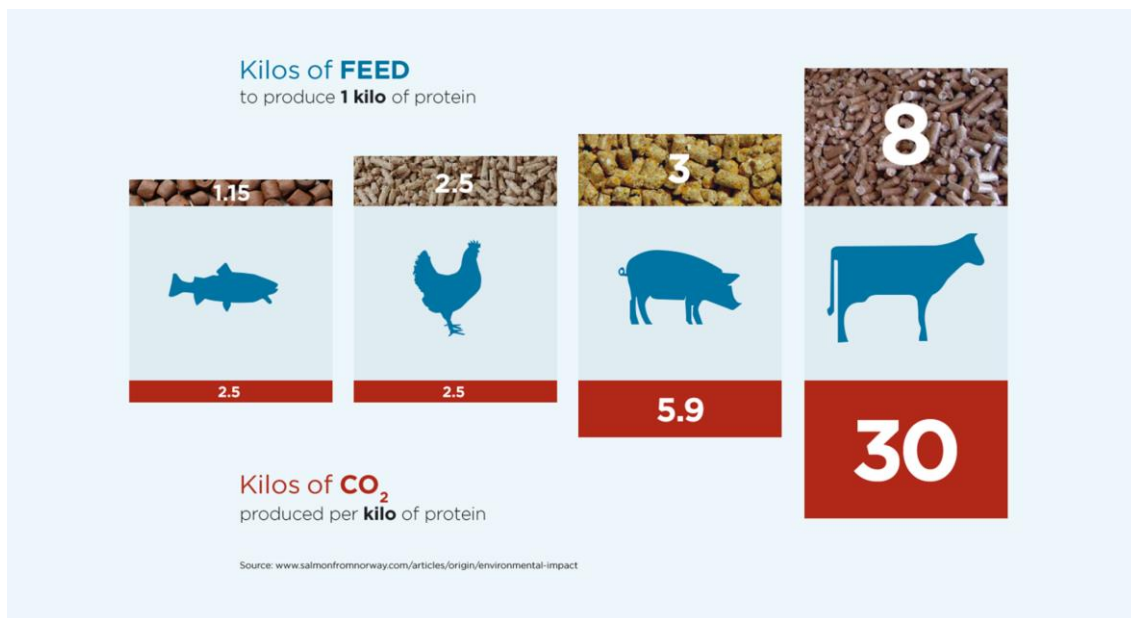


Figura 10. Comparação da pegada de carbono para o peixe com outras fontes de produção de proteína animal. Fonte: Salmon Academy. Disponível em: <https://salmon.fromnorway.com/sustainable-aquaculture/sustainability/>

Entende-se que são necessárias pesquisas aprofundadas em diferentes aspectos da produção de peixes de água doce, uma vez que são poucos os estudos relacionados (Hilborn *et al.*, 2018). Assim como, são necessárias pesquisas que comparem diferentes sistemas produtivos, utilização de fontes de energia diferentes, espécies, ração, procedimentos (Kosten *et al.*, 2020), matéria prima (Zhang *et al.*, 2022) e até mesmo de diferentes regiões e países (Hilborn *et al.*, 2018). Não obstante, é útil para o setor identificar qual etapa do processo produtivo tem maior pegada de carbono e quais fatores podem reduzir estas emissões. São pesquisas que irão nortear outros estudos para buscar soluções mais sustentáveis e resultar em um produto final com menor pegada de carbono.

É importante que a seleção de uma metodologia para mensurar e monitorar as emissões de GEE na aquicultura possa se traduzir em uma ferramenta ágil, acessível, precisa e viável, capaz de ser aplicada de forma eficaz em diferentes sistemas e contextos da aquicultura. Para Valenti *et al.* (2021) a integração dos conhecimentos científicos produzidos em grupos de pesquisas só irá refletir a realidade se resultar em produtos e serviços para a indústria e para o produtor final e atendendo a uma demanda do próprio mercado. Nesse ponto, entende-se que a busca por uma solução é emergente ao passo que os

novos hábitos de consumo pressionam para que os produtos sejam produzidos com mais responsabilidade socioambiental.

Por fim as argumentações apresentadas nos artigos de Flickinger *et al.* (2020), Anikuttan *et al.* (2016) abrem caminho para novas pesquisas que podem conduzir a produção de peixes a um novo patamar no sistema de produção de proteína animal. Neste ponto, indicando que a aquicultura tem potencial para se tornar um sumidouro de carbono se forem realizadas as adaptações necessárias para reduzir os principais emissores de GEE.

5. REFERÊNCIAS DE ACORDO COM AS NORMAS DO PERIÓDICO ESCOLHIDO

ADHIKARI, S.; RATTAN, L.; BHARAT, C.S. Carbon footprint of aquaculture in eastern India. *Journal of Water and Climate Change*, London, v. 4, p. 410-421, 2013. doi.org/10.2166/wcc.2013.028

AJAYI, Tolulase Olufunmilayo. Biomimicry: the nexus for achieving sustainability in the people-process-planet relationship. *Heliyon*, Cambridge, v.9, n. 5, 2023, e16180, ISSN 2405-8440. doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16180.

AHMED, Nasar; THOMPSON, Shirley; GLASER, Marion. Global Aquaculture Productivity, Environmental Sustainability, and Climate Change Adaptability. *Environmental Management*, Canada, v.63, p. 159–172, 2019. doi.org/10.1007/s00267-018-1117-3

ANIKUTTAN, K. K.; ADHIKARI, S.; KAVITHA, M.; JAYASANKAR, P. Carbon sequestration capacity of sediments, algae, and zooplankton from fresh water aquaculture ponds. *Environmental Monitoring and Assessment*, Netherlands, v.9, 45-56, 2016. doi: 10.1007/s10661-016-5430-0

AVNIMELECH, Yoram; LACHER, Malka; RAVEH, Ariella; ZUR, Ofer Zur. A method for the evaluation of conditions in a fish pond sediment. *Aquaculture*, Netherlands, v. 23, n. 1–4, p. 361-365 1981. doi.org/10.1016/0044-8486(81)90029-6.

BASTVIKEN, David; TRANVIK, Lars J.; DOWNING, John A.; CRILL, Patrick M.; ENRICH-PRAST, Alex. Freshwater methane emissions offset the continental carbon sink. *Science*, New York, v. 331, (6013), 50. https://doi.org/10.1126/science.1196808

BOHNES, Florence; LAURENT, Alexis. LCA of aquaculture systems: methodological issues and potential improvements. *The International Journal of*

Life Cycle Assessment, Germany, v.24, p. 324–337, 2018.
<https://doi.org/10.1007/s11367-018-1517-x>

BOHNES, Florence; LAURENT, Alexis. Life cycle assessments of aquaculture systems: a critical review of a reported findings with recommendations for policy and systems development. *Reviews in Aquaculture*, Netherlands, v.11, n. 4, p. 1061-1079, 2018. doi.org/10.1111/raq.12280

BOYD, C. E. Bottom soils, sediment and pond aquaculture. New York: Chapman and Hall, 1995. 347 p.

CHEN, Guozhu; BAI, Junhong; BI, Chen; WANG, Yaqi; CUI, Baoshan. Global greenhouse gas emissions from aquaculture: a bibliometric analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Netherlands, v. 348, 2023.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108405>.

CLÉMENT, A.; ROBINOT, É.; TRESPEUCH, L. The use of ESG scores in academic literature: a systematic literature review. *Journal of Enterprising Communities: People and Places in the Global Economy*, England, v.17, 2023.
doi.org/10.1108/JEC-10-2022-0147

DUPONT, Charlotte; COUSIN, Philippe; DUPONT, Samuel. IoT for Aquaculture 4.0 Smart and easy-to-deploy real-time water monitoring with IoT. *2018 Global Internet of Things Summit (GIOTS)*, Bilbao, Spain, 2018, p. 1-5, doi: [10.1109/GIOTS.2018.8534581](https://doi.org/10.1109/GIOTS.2018.8534581).

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. The state of world fisheries and aquaculture: towards blue transformation. FAO, Rome, 2022. doi.org/10.4060/cc0461en

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. The State of World Fisheries and Aquaculture: Sustainability in action. FAO, Roma, 2020, 182p. doi.org/10.4060/ca9229en

FEIJÓ, Amanda Monteiro; VICENTE, Ernesto Fernando Rodrigues; PETRI, Sérgio Murilo. O uso das escalas Likert nas pesquisas de contabilidade. *Revista Gestão Organizacional*. v. 13 n. 1, p. 27-41, 2020. <https://doi.org/10.22277/rgo.v13i1.5112>

FISH-e: FAO's tool for quantifying the greenhouse gas emissions arising from aquaculture. FAO, 2017. Disponível em: <https://www.fao.org/fishery/affris/affris-home/fish-e-faos-tool-for-quantifying-the-greenhouse-gas-emissions-arising-from-aquaculture/en/>. Acesso em: nov de 2022.

FLICKINGER, Dallas L. *et al.* The budget of carbon in the farming of the Amazon river prawn and tambaqui fish in earthen pond monoculture and integrated multitrophic systems. *Aquaculture Reports*, Netherlands, v. 17, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100340>

FORERO-CANTOR Germán; RIBAL, Javier Ribal; SANJUÁN, Neus; Levying carbon footprint taxes on animal-sourced foods: a case study in Spain, *Journal of Cleaner Production*, United Kingdom, v. 243, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118668>.

HIGGINS Julian P.T.; THOMAS James; CHANDLER J; CUMPSTON M; Li T, Page MJ, Welch VA (editors). *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* version 6.3. Cochrane, 2022. Disponível em: www.training.cochrane.org/handbook.

HILBORN, Ray; BANOBI, Jeannette; HALL, Stephen J; TERESA Pucylowski; Walsworth, Timothy E. The environmental cost of animal source foods. *Frontiers in Ecology and the Environment*, United States, v.16, n.6 2019, p.329–335, 2018. doi:10.1002/fee.1822

JAIN, Mansi; SHARMA, Gagan Deep; SRIVASTAVA, Mrinalini. Can Sustainable Investment Yield Better Financial Returns: A Comparative Study of ESG Indices

and MSCI Indices. *Risks*, Switzerland, v. 7, n. 1, p. 15, 2019. <https://doi.org/10.3390/risks7010015>

JIANG, Qutu; BAHTTARAI, Jiang Nishan; PAHLOW, Markus; XU, Zhenci. Environmental sustainability and footprints of global aquaculture. *Resources, Conservation and Recycling*, Netherlands, v. 180, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106183>.

KOSTEN, S. *et al.* Better assessments of greenhouse gas emissions from global fish ponds needed to adequately evaluate aquaculture footprint. *Science of The Total Environment*. V. 748, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.sctotenv.2020.141247>

LI, Ting-Ting; WANG, Kai; SUEYOSHI, Toshiyuki e WANG, Derek D. ESG: Research Progress and Future Prospects. *Sustainability*, Switzerland, v. 13, n. 21, 2021. <https://doi.org/10.3390/su132111663>

LORKE, A. *et al.* Technical note: Drifting versus anchored flux chambers for measuring greenhouse gas emissions from running waters. *Biogeosciences*, Germany, v, 12, n.23, p. 7013-7024, 2015. doi:10.5194/bg-12-7013-2015

LIU, Zhu; SUN, Taochun; YU, Ying; KE, Piyu; DENG, Zhu; LU, Chenxi; HUO, Da; DING, Xiang. Near-Real-Time Carbon Emission Accounting Technology Toward Carbon Neutrality. *Engineering*, v.14, p.44-51, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.12.019>.

MACLEOD, Michael. J.; HASAN, Mohammad R.; ROBB, David H.F.; MAMUN-UR-RASHID, Mohammad. Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. *Scientific Reports*, United Kingdom, v. 10, n. 11679, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68231-8>

MALTAIS, Aaron; NYKVIST, Björn. Understanding the role of green bonds in advancing. Sustainability. *Journal of Sustainable Finance & Investment*, United Kingdom, p 1-20, 2020. doi: 10.1080/20430795.2020.1724864

MANNICH, Michael; FERNANDES, Cristovão Vicente Scapulatempo; BLENINGER, Tobias Bernward. Câmaras flutuantes para medição de fluxo de gases na interface água-ar: revisão e análise crítica. XX SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2013, Bento Gonçalves - RS.

MANNICH, Michael; FERNANDES, Cristovão Vicente Scapulatempo; BLENINGER, Tobias Bernward. Uncertainty analysis of gas flux measurements at air–water interface using floating chambers. *Ecohydrology & Hydrobiology*, United Kingdom, v. 19, n. 4, p. 475-486, 2019. doi.org/10.1016/j.ecohyd.2017.09.002.

MOHER *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *PLoS medicine*. 2009. doi: 10.1136/bmj.b2535.

MULDER, Christian; CONTI, Erminia; MANCINELLI, Giorgio. Carbon budget and national gross domestic product in the framework of the Paris Climate Agreement. *Ecological Indicators*, Netherlands, v. 130, 2021.

NAYLOR, Rosamond L.; HARDY, Ronald W.; BUSCHMANN, Alejandro H. *et al.* A 20-year retrospective review of global aquaculture. *Nature*, United Kingdom, v. 591, p. 551–563 (2021). doi.org/10.1038/s41586-021-03308-6

PELLETIER, Nathan; TYEDMERS Peter. Life Cycle Assessment of Frozen Tilapia Fillets From Indonesian Lake-Based and Pond-Based Intensive Aquaculture Systems. *Journal of Industrial Ecology*, United States, v. 14, ed. 3, p. 467-481. doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00244.x

PETERSSON, T., Secondi, L., Magnani, A. *et al.* A multi-level water and carbon footprint dataset of food commodities. *Sci Data*, v. 8, n. 127, 2021. doi.org/10.1038/s41597-021-00909-8

QUEIROZ, Julio Ferraz de; BOEIRA, Rita Carla Boeira; SILVEIRA, Mariana Pinheiro Silveira. Coleta e Preparação de Amostras de Sedimentos de Viveiros de Aqüicultura. Comunicado Técnico. Embrapa: Jaguariuna, 2004. ISSN 1516-8638.

RIEDO, Ijean Gomes. Desenvolvimento da piscicultura em pequenas propriedades rurais: análise no contexto da trílice hélice. 2017. 103 f.. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Economia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2017.

RUTEGWA, Marcellin, *et al.* Diffusive Methane Emissions from Temperate Semi-Intensive Carp Ponds. *Aquaculture Environment Interactions*, Germany, v. 11, 2019, pp. 19–30. doi: 10.3354/aei00296

SHABIR, Irtiq; DASH, Kshirod Kumar; DAR, Aamir Hussain; PANDEY, Vinay Kumar; FAYAZ, Ufaq; SRIVASTAVA, Shivangi; R, Nisha. Carbon footprints evaluation for sustainable food processing system development: A comprehensive review. *Future Foods*, Netherlands, v. 7, 2023. doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100215.

SU, Ching-Hui; TSAI, Chin-Hsun; CHEN, Ming-Hsiang Chen; LV, Wan Qing. U.S. Sustainable Food Market Generation Z Consumer Segments. *Sustainability*, v. 11, n. 13, 2019. doi.org/10.3390/su11133607

TAN, Di; LI, Qingguang; WANG, Shilu; YEAGER, Kevin M.; GUO, Mingwei; LIU, Kun; WANG, Yuchun. Diel variation of CH₄ emission fluxes in a small artificial lake: Toward more accurate methods of observation. *Science of The Total Environment*, Netherlands, v. 784, 2021. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147146.

UNITED NATIONS, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables, 2017.

VALENTI, Wagner Cotroni; BARROS, Helenice P.; VALENTI, Patrícia Moraes; BUENO, Guilherme W.; CAVALLI, Ronaldo O. Aquaculture in Brazil: past, present and future. *Aquaculture Reports*, Netherlands, v. 19, 2021. doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611.

WILKINSON Marshall T.; RICHARDS, Paul J.; HUMPHREYS, Geoff S. Breaking ground: Pedological, geological, and ecological implications of soil bioturbation, *Earth-Science Reviews*, v. 97, n. 1–4, 2009, p. 257-272, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.09.005>.

YANG, Ping *et al.* Diffusive CH₄ fluxes from aquaculture ponds using floating chambers and thin boundary layer equations, *Atmospheric Environment*, V. 253, 2021, 118384. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118384>.

YUAN, Junji *et al.* Rapid growth in greenhouse gas emissions due to the adoption of industrial-scale aquaculture. *Nature Climate Change*. v. 9, p. 318–322, 2019. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0425-9>

YUE, Kangning *et al.* An overview of disruptive technologies for aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, China, v. 7, p.111-120, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.04.009>.

WACKERNAGEL, Mathis; BEYERS, Bert. *Ecological Footprint*. Columbia: New Society Publishers, 2019.

WONG, Jin Boon; ZHANG, Qin Zhang. Stock market reactions to adverse ESG disclosure via media channels. *The British Accounting Review*, v. 54, n. 1, 2022. doi.org/10.1016/j.bar.2021.101045.

WOO, Junghoon *et al.* Applying blockchain technology for building energy performance measurement, reporting, and verification (MRV) and the carbon credit market: A review of the literature. *Building and Environment*. United Kingdom, v. 205, 2021. doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108199

XIONG Yinghui; WANG Fang; Guo Xiantao; LIU Feng; Dong, Shuanglin. Carbon dioxide and methane fluxes across the sediment-water interface in different grass carp *Ctenopharyngodon idella* polyculture models. *Aquaculture Environment Interactions*, Germany, v.9: p. 45-56, 2017. <https://doi.org/10.3354/aei00214>

XU, Congjun; SU, Guohuan; ZHAO, Kangshun; XU, Xiaoqi; LI, Ziqi; HU, Qiang; XUE, Ying; XU, Jun Xu. Current status of greenhouse gas emissions from aquaculture in China. *Water Biology and Security*, China, v. 1, n. 3, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.watbs.2022.100041>.

ZHANG, Yifei; TANG, Kam W.; YANG, Ping; YANG, Hong; TONG, Chuan; SONG, Changchun; TAN, Lishan; ZHAO, Guanghui; ZHOU, Xudong; SUN, Dongyao. Assessing carbon greenhouse gas emissions from aquaculture in China based on aquaculture system types, species, environmental conditions and management practices, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Netherlands, v. 338, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108110>.

ZHOU *et al.* Four decades of nitrous oxide emission from Chinese aquaculture underscores the urgency and opportunity for climate change mitigation. *Environmental Research Letters*. United Kingdom, v. 16, 2021. doi 10.1088/1748-9326/ac3177

CAPÍTULO III

Conclusão Final

A partir do levantamento realizado, tanto dos artigos resultantes da revisão sistemática quanto dos materiais de apoio, entende-se que não se faz necessária a elaboração de uma nova metodologia para a avaliação da pegada de carbono na aquicultura. Existem em andamento ferramentas que possibilitam mensurar este impacto e produzir relatórios para as diferentes etapas do processo produtivo de forma fidedigna e consistente como é o caso do GHG Protocol. O que é necessário é aplicar tais metodologias em diferentes sistemas, aprofundando quanto ao grau de influência de diferentes sistemas de produção, espécies produzidas, meios de processamento e fornecimento de alimentação, fontes de energia utilizados e outros. Também deve ser considerado iniciar estudos neste segmento para que o setor possa aproveitar o seu crescimento ao passo que existe uma demanda em ascensão por produtos sustentáveis. No entanto, esta aplicação também depende, em grande parte, de informações mais precisas de outros segmentos da indústria, para fornecer dados relativos às emissões de carbono que equipamentos e outros insumos produtivos possuem ou irão emitir com seu funcionamento.

REFERÊNCIAS

- ARRUDA, Erick Hungaro *et al.* Circular economy: a brief literature review (2015–2020). **Sustainable Operations and Computers**, Beijing, v. 2, p 79-86, 2021.
- AROURI, Mohamed; GHOUL, Sadok El; GOMES, Mathieu. Greenwashing and product market competition. **Finance Research Letters**, San Diego, v. 42, [art.] 101927, Jan. 2021.
- BENITES-LAZARO, L. L; MELLO-THÉRY, N. A. Empowering communities? Local stakeholders' participation in the clean development mechanism in Latin America. **World Development**, Oxford, v. 114, p. 254-266, 2019.
- BEST, Rohan; ZHANG, Qiu Yue. What explains carbon-pricing variation between countries? **Energy Policy**, Guildford, v. 143, [art.] 111541, 2020.
- BRASIL. Conselho de Controle de Atividades Financeiras – COAF. **GCF no contexto brasileiro**: Autoridade Nacional Designada (AND). Brasília, DF: COAF, 2018 Disponível em: <https://www.gov.br/coaf/pt-br/atuacao-internacional/fundo-verde-do-clima/gcf-no-contexto-brasileiro-autoridade-nacional-designada-and>. Acesso em: 19 set. 2021.
- CHANG, Ching-Chih *et al.* Carbon footprint analysis in the aquaculture industry: assessment of an ecological shrimp farm. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 168, p. 1101-1107, 2017.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of world fisheries and aquaculture 2020**: sustainability in action. Rome: FAO, 2020. 244 p. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- GAO, Shang. *et al.* Mapping and clustering analysis on environmental, social and governance field a bibliometric analysis using scopus. **Sustainability**, Basel, v.13, n. 13, [art.] 7304, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13137304>. Acesso em: 12 nov. 2021.
- GARCIA, F. *et al.* Emery assessment of tilapia cage farming in a hydroelectric reservoir. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 68, p. 72-79, 2014.
- GEISSDOERFER, Martin *et al.* The circular economy – A new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v.143, p. 757-768, 2017.
- HILL, John. Defining and measuring ESG performance. *In*: HILL, J. (ed.). **Environmental, Social, and Governance (ESG) investing**. Cambridge: Academic Press, 2020a. cap. 9, p.167-183.

HILL, John. What's next for ESG investing? *In*: HILL, J. (ed.). **Environmental, Social, and Governance (ESG) investing**. Cambridge: Academic Press, 2020b. cap. 16, p. 329-335.

HETEMÄKI, Lauri *et al.* **Leading the way to a European circular bioeconomy strategy**. [Joensuu]: European Forest Institute, 2017. (From Science to Policy, v. 5).

GSIA - GLOBAL SUSTAINABLE INVESTMENT ALLIANCE. **Global sustainable investment review 2020**. Toronto: GSIA, 2020. Disponível em: <http://www.gsi-alliance.org/trends-report-2020/>. Acesso em: 18 set. 2021.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa da Pecuária Municipal**: tabela 3940 - Produção de aquicultura, por tipo de produto. [Base de Dados SIDRA]. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940>. Acesso em: 10 nov. 2020.

KIMPARA, Janaina Mitsue; ZADJBAND, Ariel David; VALENTI, Wagner Cotroni. **Métodos para medir a sustentabilidade na aquicultura**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2012. (Documentos, 218).

LA FUENTE, Gabriel de; ORTIZ, Margarita; VELASCO, Pilar. The value of a firm's engagement in ESG practices: are we looking at the right side? **Long Range Planning**, Oxford, v. 55, n. 4, [art.] 102143, 2022.

LEYDESDORFF, Loet. The triple helix of university-industry-government relations. *In*: CARAYANNIS, E.; CAMPBELL, D. (ed.). **Encyclopedia of creativity, innovation, and entrepreneurship**. New York: Springer, 2012. 17p. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1996760>. Acesso em: 20 fev. 2020.

LEWIS, Yvonne; COHEN, Brett. Footprint tools. *In*: TEODOSIU, C.; FIORE, S.; HOSPIDO, A. (ed.). **Assessing progress towards sustainability: frameworks, tools and case studies**. Amsterdam: Elsevier, 2022. cap. 7, p. 119-135. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85851-9.00014-6>. Acesso em: 07 nov 2022

MACLEOD, M. J. *et al.* Quantifying greenhouse gas emissions from global aquaculture. **Scientific Reports**, London, v. 10, [art.] 11679, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68231-8>. Acesso em: 22 mar 2021.

PANTOJA-LIMA *et al.* *In*: MATTOS, Bruno Olivetti *et al.* (org.). O estado da piscicultura na Amazônia brasileira. **Aquicultura na Amazônia: estudos técnico-científicos e difusão de tecnologias**. Ponta Grossa: Atena, 2021. p 1-12.

MCGRATH, D. G. *et al.* **Policy brief**: can fish drive development of the amazon bioeconomy. [Berkeley]: Earth Innovation Institute, 2020.

MCCORMICK, Kes; KAUTTO, Niina. The bioeconomy in europe: an overview. **Sustentabilidade**, Basel, v. 5, p. 2589-2608, 2013.

MULDER, Christian; CONTI, Erminia; MANCINELLI, Giorgio. Carbon budget and national gross domestic product in the framework of the Paris climate agreement. **Ecological Indicators**, New York, v. 130, [art.] 108066, 2021.

NISHITANI, Kimitaka *et al.* Are corporate environmental activities to meet sustainable development goals (SDGs) simply greenwashing? An empirical study of environmental management control systems in Vietnamese companies from the stakeholder management perspective. **Journal of Environmental Management**, London, v. 296, [art.] 113364, 2021.

OUATAHAR, Latifa *et al.* Modelling the effect of feeding management on greenhouse gas and nitrogen emissions in cattle farming systems. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 776, [art.] 145932, 2021.

RIEDO, Ijean G. **Desenvolvimento da piscicultura em pequenas propriedades rurais: análise no contexto da tríplice hélice**. 2017. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2017.

SABBAGHI, Omid. The impact of news on the volatility of ESG firms. **Global Finance Journal**, New York, v. 51, [art.] 100570, 2020.

SAFIULLAH, Md.; KABIR, Md. Nurul; MIAH, Mohammad Dulal. Carbon emissions and credit ratings. **Energy Economics**, Amsterdam, v. 100, [art.] 105330, 2021.

SILVA, Marcelo Gomes *et al.* **Modelo para amostragem e avaliação de gases de efeito estufa (GEE) em reservatórios com produção aquícola**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2018.

SMÁRASON, Birgir Örn *et al.* Life cycle assessment of icelandic arctic char fed three different feed types. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Trabazon, v. 17, p. 79-90, 2017.

SOUZA, Maria Cristina Oliveira; CORAZZA, Rosana Icassatti. Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 42, p. 52-80, dez. 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/51298/34446>. Acesso em: 18 set. 2021.

STEGMANN, Paul; LONDO, Marc; JUNGINGER, Martin. The circular bioeconomy: its elements and role in European bioeconomy clusters. **Resources, Conservation & Recycling: X**, Amsterdam, v. 6, [art.] 100029, 2020.

THE GLOBAL COMPACT. Who cares wins: connecting financial markets to a changing world. [S. l.]: Swiss Federal Department United Nations of Foreign Affairs; United Nations, June 2004.

UNFCCC - UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE. **The Paris agreement**. [Luxemburg]: UNFCCC, 2016. Disponível em: http://unfccc.int/paris_agreement/items/9485.php. Acesso em: 1º set. 2021.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. Population Division. **World population prospects 2019: highlights**. New York: United Nations, 2019. (ST/ESA/SER.A/423).

VALENTI, Wagner Cotroni *et al.* Aquaculture in Brazil: past, present and future, **Aquaculture Reports**, Amsterdam, v. 19, [art.] 100611, 2021.

YUE, Kangning; SHEN, Yubang. An overview of disruptive technologies for aquaculture. **Aquaculture and Fisheries**, Amsterdam, v. 7, n. 2, p. 111-120, 2022.

WACKERNAGEL, Mathis, REES, William. Our ecological footprint: reducing human impact on the Earth. [S. l.]: New Society Publishers, 1998.

WOO, Junghoon *et al.* Applying blockchain technology for building energy performance measurement, reporting, and verification (MRV) and the carbon credit market: a review of the literature. **Building and Environment**, Kidlington, v. 205, [art.] 108199, 2021.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Preenchimento da Tabela de avaliação das metodologias de pegada de carbono encontradas nos artigos selecionados.

Método/metodologia Critérios	Câmara estática flutuante	Análise de Sedimentos	Balanço de Carbono
FLEXIBILIDADE			
- O método/ metodologia pode ser utilizado em sistemas de produção diferentes (intensiva, extensiva, semi intensiva, RAS)?	5	5	5
- O método/ metodologia pode ser utilizada em diferentes tipos de produção (monocultivo, policultivo, ITMA)	5	5	5
- O método/ metodologia permite adaptação?	5	1	5
ACESSIBILIDADE			
- O método/ metodologia necessita de conhecimento técnico específico para ser utilizada?	3	1	3
- Os conhecimentos necessários são especializados ou de alta complexidade?	3	3	5

- O custo para obtenção dos equipamentos e/ ou conhecimento são elevados?	5	3	5
PRECISÃO			
- O método/ metodologia é capaz de apresentar dados de emissão de GEE com exatidão?	3	1	5
- O método/ metodologia utiliza de técnicas que possibilitam a precisão da coleta das amostras?	5	5	5
- O método/ metodologia permite identificar corretamente as fontes de emissão?	3	1	5
FACILIDADE NO USO/ IMPLEMENTAÇÃO			
- O método/ metodologia exige equipamentos/instrumentos complexos?	5	5	5
- O método/ metodologia exige protocolos complexos?	5	3	3
- O método/ metodologia exige manutenção complexa?	5	5	5