

Documentos

151

Dourados, MS / Novembro, 2025

Nutrição, manejo alimentar e gases de efeito estufa na piscicultura em viveiros escavados

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



Embrapa

Agropecuária Oeste

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agropecuária Oeste
Ministério da Agricultura e Pecuária*

ISSN 1516-845X / e-ISSN 1679-043X

Documentos 151

Novembro, 2025

Nutrição, manejo alimentar e gases de
efeito estufa na piscicultura em
viveiros escavados

*Tarcila Souza de Castro Silva
Ana Carolina Amorim Orrico
Erika do Carmo Ota
Luis Antonio Kioshi Aoki Inoue
Laurindo André Rodrigues
Nathan Oliveira Barros*

Embrapa Agropecuária Oeste
Dourados, MS
2025

| | |
|--|--|
| Embrapa Agropecuária Oeste | Edição executiva |
| BR-163, km 253,6 | <i>Eliete do Nascimento Ferreira</i> |
| 79804-970 Dourados, MS | Revisão de texto |
| www.embrapa.br/agropecuaria-oeste | <i>Eliete do Nascimento Ferreira</i> |
| www.embrapa.br/fale-conosco/sac | Normalização bibliográfica |
| Comitê Local de Publicações | <i>Sílvia Mara Belloni</i> (CRB-1/1662) |
| Presidente | Projeto gráfico |
| <i>Rafael Zanoni Fontes</i> | <i>Leandro Sousa Fazio</i> |
| Secretário-executivo | Diagramação |
| <i>Rômulo Penna Scorz Júnior</i> | <i>Eliete do Nascimento Ferreira</i> |
| Secretário | Fotos da capa |
| <i>Gustavo Henrique Pinto</i> | <i>Tarcila Souza de Castro Silva (1) e</i> <i>Erka do Carmo Ota (2)</i> |
| Membros | Publicação digital: PDF |
| <i>Adriana Marlene Moreno Pires</i> | |
| <i>Alexandre Dinnys Roese</i> | |
| <i>Fernando Mendes Lamas</i> | |
| <i>Guilherme Lafourcade Asmus</i> | |
| <i>Marciana Retore</i> | |
| <i>Maria Aparecida Viegas Martins</i> | |
| <i>Sílvia Mara Belloni</i> | |

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agropecuária Oeste

Nutrição, manejo alimentar e gases de efeito estufa na piscicultura em viveiros escavados / Tarcila Souza de Castro e Silva... [et al.]. – Dourados, MS : Embrapa Agropecuária Oeste, 2025. PDF (28 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Agropecuária Oeste, e-ISSN 1679-043X ; 151).

1. Efeito estufa. 2. Piscicultura. 3. Matéria orgânica. I. Silva, Tarcila Souza de Castro e. II. Orrico, Ana Carolina Amorim. III. Ota, Erika do Carmo. IV. Inoue, Luis Antonio Kioshi Aoki. V. Rodrigues, Laurindo André. VI. Barros, Nathan Oliveira. VII. Embrapa Agropecuária Oeste. VIII. Série.

Autores

Tarcila Souza de Castro Silva

Zootecnista, doutora em Ciências, pesquisadora da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

Ana Carolina Amorim Orrico

Zootecnista, doutora em Zootecnia, professora titular da Universidade Federal da Grande Dourados, na Faculdade de Ciências Agrárias, Dourados, MS

Erika do Carmo Ota

Bióloga, doutora em Ciências Ambientais, bolsista na Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS

Luis Antonio Kioshi Aoki Inoue

Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Evolução, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

Laurindo André Rodrigues

Zootecnista, doutor em Aquicultura, pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS

Nathan Oliveira Barros

Biólogo, doutor em Ecologia, professor associado da Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG

Apresentação

A aquicultura se estabeleceu como uma atividade fundamental para a segurança alimentar global, sendo um dos setores agropecuários de maior crescimento. No entanto, o rápido avanço da atividade intensifica o desafio de mitigar seus impactos ambientais, notadamente a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e a gestão de resíduos, problemas que têm como principal vetor a nutrição e a alimentação dos peixes.

Esta publicação aborda as rotas de formação de GEE em sistemas de produção de peixes, demonstrando como a composição da dieta e o manejo influenciam diretamente a produção de resíduos.

Explora estratégias de mitigação baseadas na nutrição, incluindo o adequado manejo alimentar e o uso de ingredientes e aditivos de menor impacto ambiental, visando ao aumento da eficiência produtiva e à redução da pegada de carbono da atividade.

Contribui ainda para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, em especial o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável) e o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima). Ao subsidiar a implementação de sistemas sustentáveis de produção de alimentos (Meta 2.4) e alinhar o manejo de resíduos às políticas de mudança climática (Meta 13.2), reforça o compromisso com uma aquicultura resiliente e sustentável.

Dessa forma, esta publicação oferece subsídios essenciais para técnicos, produtores e formuladores de políticas na adoção de práticas baseadas em ciência, garantindo que o desenvolvimento da piscicultura nacional ocorra em consonância com as metas de sustentabilidade da atividade.

Harley Nonato de Oliveira
Chefe-Geral da Embrapa Agropecuária Oeste

Sumário

| | |
|--|-----------|
| Introdução | 9 |
| Estratégias para redução de resíduos e emissão de GEE na piscicultura | 13 |
| Pegada de carbono e as rações | 17 |
| Considerações finais | 22 |
| Referências | 24 |

Introdução

A aquicultura é uma das atividades agropecuárias que mais cresce no mundo, impulsionada pela demanda por alimentos ricos em proteína e pela necessidade de alternativas sustentáveis para produção animal. Com seu potencial para suprir o mercado global de pescado e contribuir para a segurança alimentar, a piscicultura se destaca como uma das principais cadeias de produção de proteína animal. No entanto, por causa da elevada demanda e do crescimento acelerado da atividade, surgem desafios ambientais, como a geração de resíduos e a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) (Chen et al., 2023). A compreensão desses impactos e a adoção de estratégias de mitigação e de adaptação são fundamentais para garantir um desenvolvimento sustentável da piscicultura (FAO, 2020).

De forma geral, os principais GEE são: dióxido de carbono (CO_2), sendo o mais abundante e que se relaciona, principalmente, à queima de combustíveis fósseis e ao desmatamento; e o metano (CH_4), que é emitido por atividades agropecuárias, produção de petróleo e gás, e na decomposição de resíduos orgânicos em ambientes anóxicos. Embora esteja presente em menores quantidades, o óxido nitroso (N_2O) se caracteriza por sua potência na retenção de calor, sendo 298 vezes mais potente que o CO_2 . Ele é liberado por diversas fontes, incluindo atividades agrícolas, como o uso de fertilizantes, a queima de combustíveis e os processos industriais (Filonchyk et al., 2024).

Na piscicultura, assim como nas demais atividades agropecuárias, os principais GEE produzidos são também o CO_2 , o CH_4 e o N_2O . Na produção em campo, o CO_2 está relacionado ao consumo de energia, à respiração e à decomposição da matéria orgânica em condições aeróbicas, enquanto o CH_4 e o N_2O estão relacionados à decomposição da matéria orgânica em condições anaeróbicas, como nos fundos dos tanques/viveiros. O N_2O também pode estar relacionado com a adubação de viveiros (Chen et al., 2023).

Independentemente, entende-se que a maior parte da emissão de GEE na produção de peixes em condições de campo resulta da degradação da matéria orgânica no ambiente aquático, ou seja, fezes e ração, principalmente. Esses resíduos resultam das sobras de ração durante o manejo alimentar e da eliminação de nutrientes não absorvidos pelos peixes. O acúmulo desta matéria orgânica pode causar desequilíbrios, como a eutrofização, e até a morte de peixes pela degradação da qualidade de água, gerando mais um tipo de resíduo, os peixes mortos (Figura 1).

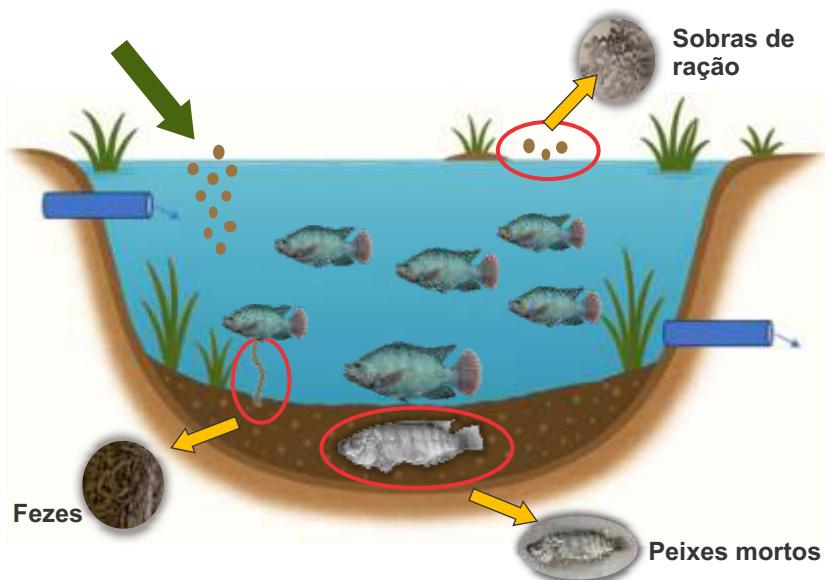


Figura 1. Representação gráfica dos principais resíduos da piscicultura: sobras de ração, fezes e peixes mortos.

Ilustração: Tarcila Souza de Castro Silva.

Em um trabalho recente, Dalbem Barbosa et al. (2024) indicam que apenas 20% do carbono, 45% do nitrogênio e 60% do fósforo presentes na ração são assimilados pelos peixes. Em alguns sistemas, o acúmulo de resíduos no fundo dos tanques pode corresponder a até 80% do carbono, 80% do nitrogênio e 60% do fósforo. Adicionalmente, perdas consideráveis podem ocorrer por meio dos efluentes, com até 16% do carbono, 76% do nitrogênio e 55% do fósforo sendo descartados.

A hidrólise corresponde ao passo inicial da degradação da matéria orgânica, na qual as proteínas são hidrolisadas em aminoácidos, que são desaminados, liberando amônia e, assim, formando os compostos orgânicos. Esses compostos passam pelo processo de fermentação (acidogênese e acetogênese), gerando compostos intermediários, como os ácidos orgânicos (entre eles, o ácido acético), hidrogênio e CO₂, que, em condições anaeróbicas, são convertidos a metano por microrganismos metanogênicos (Kunz et al., 2019).

A amônia liberada pode seguir diferentes rotas, dependendo da disponibilidade de oxigênio. Em condições aeróbicas, passa pelo processo de nitrificação, em que é convertida em nitrito (NO₂), o qual é oxidado a nitrato (NO₃) pela ação de bactérias nitrificantes. Contudo, quando a oxidação é incompleta, ocorre a formação de N₂O como intermediário. Isto, geralmente, pode acontecer em ambientes ricos em compostos nitrogenados. Já em ambientes anaeróbicos, prevalece a desnitrificação, processo em que o nitrato é reduzido a nitrogênio gasoso, passando por diversos intermediários, como o óxido nitroso. Em condições que não favorecem a redução completa, o N₂O pode ser liberado para a atmosfera (Souza e Enrich-Prast, 2012).

A liberação de GEE para a atmosfera pode ocorrer por difusão ou ebulação (Figura 2). A difusão ocorre quando os GEE são transferidos da água ou do sedimento de forma gradativa e contínua, pela diferença de concentração entre o ar e a água, devido à diferença de pressão parcial do gás. A liberação ebolutiva ocorre quando os gases pouco solúveis na água atingem uma certa concentração ou são agitados e se desprendem do sedimento em forma de bolhas que sobem para a superfície, sendo rapidamente liberados para a atmosfera. Além do

gradiente de concentração, esses processos são influenciados por vários fatores, tais como: a solubilidade do gás na água, sendo que gases com baixa solubilidade (como CO₂ e O₂) tendem a escapar mais facilmente para o ar; a temperatura da água, que em condições de elevação resulta na diminuição da solubilidade dos gases, facilitando a liberação para o ar; e a turbulência, em que a agitação eleva a taxa de difusão pela formação de bolhas e aumento da superfície de contato para as trocas gasosas. Estima-se que 80 a 90% das emissões de metano na aquicultura ocorram por ebulação (Vroom et al., 2023; Waldemer et al., 2024), mas, apesar disso, essa via é considerada em menos de 10% dos estudos.



Figura 2. Representação gráfica das formas de liberação dos gases de efeito estufa em ambientes aquáticos.

Ilustração: Tarcila Souza de Castro Silva.

Estratégias para redução de resíduos e emissão de GEE na piscicultura

A nutrição e a alimentação de peixes devem ser trabalhadas para que se reduza a geração de resíduos e, consequentemente, a emissão dos GEE. O manejo alimentar deve ser realizado com o objetivo de diminuir as sobras e favorecer a eficiência alimentar. Com esse intuito, podem ser adotadas diversas estratégias, como o fornecimento da ração em taxa e frequência indicadas para cada fase de crescimento do peixe e de acordo com a espécie, o uso de alimentadores automáticos, o monitoramento do comportamento alimentar e o ajuste da oferta conforme a temperatura da água.

O fornecimento de ração em excesso promove maior acúmulo de material orgânico na forma de sedimento, com destaque para a concentração de compostos nitrogenados, resultando em aumento das emissões (Waldemer et al., 2024). Estudos também demonstram que o aumento da taxa de alimentação e da carga de nitrogênio em viveiros de aquicultura está associado ao aumento das emissões de GEE (Deng et al., 2024), reforçando a importância de estratégias nutricionais adequadas para a mitigação desses impactos.

Outro ponto importante é a escolha da ração, já que os aspectos físicos, químicos e biológicos são importantes para determinar a eficiência alimentar. Os peixes bem alimentados e nutritidos terão um potencial desempenho zootécnico superior e auxiliarão na manutenção da qualidade de água, pois a absorção eficiente de nutrientes pode levar à redução da carga de resíduos nitrogenados e orgânicos no sistema. Parte desses resíduos se acumula na forma de sólidos suspensos, os quais, em altas concentrações, aumentam a demanda bioquímica de oxigênio e, embora a deposição no fundo dos viveiros seja o destino mais comum, parte desses sólidos pode ser degradada ainda na coluna d'água. Em ambas as situações,

ambientes com baixa oxigenação favorecem a atividade de microrganismos anaeróbios, resultando na liberação de metano e óxido nitroso.

A qualidade da água é essencial para a manutenção de um ambiente saudável aos peixes. A aeração é importante processo para manter os níveis ideais de oxigênio dissolvido aos peixes e diminuir as condições anaeróbicas que fomentam a formação de N_2O e CH_4 (Melo Júnior et al., 2025). Ao mesmo tempo, práticas de manejo, como a retirada dos peixes mortos, sedimentos e águas com alta carga orgânica, são essenciais para preservar a qualidade de água e mitigar a emissão desses gases.

Outra estratégia para reduzir as emissões de GEE na piscicultura é a adoção de sistemas de produção integrados, como o co-cultivo de peixes com vegetais em estruturas flutuantes. Essa abordagem é especialmente indicada para sistemas de produção em viveiros escavados de água doce, operando sob manejo semi-intensivo ou intensivo, nos quais há acúmulo de nutrientes na água e potencial para aproveitamento dos resíduos orgânicos como fonte para o crescimento vegetal. Em estudo recente, Bao et al. (2023) demonstraram que a integração de *pak choi* (*Brassica rapa* var. *chinensis*) e espinafre d'água (*Ipomoea aquatica*) com a criação de bagres (*Peltobagrus fluvidraco*) em tanques experimentais resultou em redução significativa das emissões de N_2O , com decréscimos de 60,20 e 67,71%, respectivamente, em comparação à monocultura de peixes. Embora não tenha sido observada diferença significativa nas emissões de metano, houve redução expressiva na intensidade de emissão por unidade de alimento produzido, com valores 96,15 e 80,77% menores nos sistemas integrados com *pak choi* e espinafre d'água, respectivamente.

Além disso, o correto tratamento dos resíduos pode agregar valor à cadeia com novos produtos, como o biogás, fertilizantes orgânicos e água residual para fertirrigação, favorecendo uma economia circular. Dentre essas possibilidades, destaca-se o aproveitamento energético, por meio da digestão anaeróbia, que permite a produção do biogás, como o biometano. O rendimento de biometano está diretamente

relacionado à composição dos resíduos, a qual é fortemente influenciada pela formulação das dietas dos peixes. Dietas com alto teor de lipídios apresentam potencial para aumentar o rendimento de metano, por causa da maior densidade energética dos lipídios em comparação aos carboidratos (Choudhury et al., 2022). Por sua vez, dietas com elevado conteúdo proteico podem reduzir a relação carbono/nitrogênio (C/N) dos resíduos, favorecendo a liberação de amônia livre em concentrações que inibem a atividade dos microrganismos metanogênicos (Choudhury et al., 2022). Assim, a escolha e o balanceamento dos ingredientes das rações não apenas afetam o desempenho zootécnico dos peixes, mas também influenciam a viabilidade e a eficiência dos processos de valorização energética dos resíduos, como a digestão anaeróbia.

De acordo com Syropoulou et al. (2024), a composição dos ingredientes da dieta tem efeito direto sobre a composição físico-química das fezes dos peixes, como a razão proteína/carboidrato, que, por sua vez, afeta a biodegradabilidade dos resíduos e a formação de compostos intermediários da digestão anaeróbia. Essas variações podem alterar o potencial desses resíduos em gerar GEE, tornando a formulação da dieta um fator relevante para a gestão eficiente de efluentes e mitigação de GEE nos sistemas de produção aquícola. No mesmo sentido, como demonstrado por Wilfart et al. (2023), a escolha dos ingredientes da dieta impacta significativamente a pegada de carbono associada à produção da ração, etapa responsável por parcela expressiva das emissões totais da piscicultura. Por meio da formulação multiobjetivo de rações, é possível reduzir substancialmente esses impactos, sem comprometer o desempenho dos peixes, reforçando o papel da nutrição como estratégia integrada para mitigar emissões em todas as etapas da cadeia produtiva aquícola.

Além das abordagens nutricionais e do aproveitamento de resíduos discutidos anteriormente, o sistema de recirculação de água (RAS) foi destacado em estudo recente como alternativa promissora para mitigar emissões de GEE na piscicultura (Melo et al., 2025). Segundo Melo Júnior et al. (2025), a criação de tilápias em RAS

apresentou baixa pegada de carbono, com emissões diretas de 2,03 kg CO₂-eq por quilograma de proteína produzida. A maior parte das emissões foi atribuída ao metano gerado no biofiltro, responsável por cerca de 98% do total, principalmente por ebulição associada ao acúmulo de matéria orgânica e à dinâmica de aeração. Contudo, o estudo não considerou fluxos de N₂O, emissões noturnas e o destino do lodo do biofiltro, o que pode subestimar o impacto real do sistema.

Em relação à formulação das rações, é essencial que atenda às exigências nutricionais, por meio do uso de ingredientes com alta digestibilidade e aplicação do conceito de proteína ideal. A inclusão de ingredientes alternativos também é uma prática para promover a sustentabilidade. Assim, é comum a utilização de aditivos para melhorar a eficiência alimentar dos peixes, otimizar o crescimento e a saúde, e reduzir os impactos ambientais. Os aditivos podem ser: enzimáticos, probióticos, prebióticos, pós-bióticos, ácidos orgânicos, antioxidantes, aminoácidos sintéticos, peptídeos, lipídeos e óleos, minerais, entre outros. Embora esses aditivos não sejam mensurados diretamente quanto à excreção de compostos nitrogenados e orgânicos, os benefícios por eles gerados sugerem que sua utilização reduz a carga de resíduos liberados no ambiente, contribuindo para a mitigação de CH₄ e N₂O (Chakroborty et al., 2025).

Além da escolha e da composição dos ingredientes, o processamento da ração também é uma etapa muito importante para garantir a segurança dos alimentos e a biodisponibilidade dos nutrientes conforme a formulação. Um processamento eficiente garante que os nutrientes planejados na formulação estejam disponíveis para os peixes, e minimizam perdas durante a fabricação, o armazenamento e o fornecimento da ração.

Pegada de carbono e as rações

Além das questões técnicas na nutrição e alimentação, para garantir e minimizar as emissões, é necessário considerar a pegada de carbono da atividade. A pegada de carbono da indústria da aquicultura, no geral, é o resultado de uma combinação de fatores, como produção de ração, consumo de energia, transporte, processamento e gestão de resíduos. Ela pode ser conceituada como a soma das emissões e remoções de gases de efeito estufa em um sistema produtivo, expressa como equivalente de dióxido de carbono ($\text{CO}_2\text{-e}$), com base em um estudo de avaliação do ciclo de vida, representada pelo potencial relativo para o aquecimento global.

De acordo com os *guidelines* do Lovelock et al. (2019) para áreas alagadas, é importante ressaltar que o CO_2 emitido não é considerado antropogênico e, portanto, não é necessário contabilizá-lo nos inventários de emissões da aquicultura. Isto significa que o CO_2 não representa uma emissão adicional; ele é oriundo de um carbono sequestrado pelo vegetal que foi utilizado para produzir a ração e, quando emitido, volta para a atmosfera em um circuito curto. Por outro lado, o CH_4 e o N_2O precisam ser quantificados, pois representam uma emissão adicional.

Embora a aquicultura emita menos gases de efeito estufa do que outras atividades de criação animal, suas emissões ainda podem contribuir para o aquecimento global. Em sistemas de produção de peixes, sabe-se que o fator que mais impacta o ambiente, incluindo o cenário de mudanças climáticas, é a produção de ração. A pegada de carbono da ração, considerando a soma de todos os processos de produção e excluindo a criação de peixe a campo, pode contribuir com cerca de 68,3 a 79,7% das emissões totais de GEE na aquicultura (Goglio et al., 2022).

Isto significa que é necessário observar toda a cadeia, e neste sentido, a escolha do ingrediente com menor emissão e pegada do uso da terra pode ser determinante. A origem dos ingredientes é um componente preponderante. A Organização das Nações Unidas para a

Alimentação e a Agricultura (FAO) disponibiliza uma ferramenta para estimar as emissões de GEE da aquicultura, a FISH-emissions (FISH-e), que é um modelo simplificado para estimar a intensidade de GEE na produção aquícola, expressa em kg de CO₂ equivalente por kg de peso vivo produzido. A ferramenta abrange as principais espécies cultivadas no mundo e considera os limites de sistema “do berço ao portão da fazenda”, concentrando-se nas etapas de produção e transporte dos insumos, formulação da ração e criação dos organismos aquáticos. O modelo permite a customização de variáveis-chave, incluindo espécie, localização geográfica, composição e conversão alimentar, além do uso de energia e fertilizantes na unidade produtiva. A partir desses dados, o FISH-e realiza o cálculo das emissões e fornece uma visualização gráfica detalhada das fontes de GEE ao longo do sistema produtivo (MacLeod, 2017). Por meio de simulações é possível observar que a mesma fórmula alimentar, nas mesmas condições de criação de tilápias, pode resultar em emissões diferentes quando utilizada em países distintos (Figura 3).

| Ingrediente | Inclusão (%) | | |
|---------------------|--------------|---|------------------------------|
| Farinha de peixe | 16 |  | 36.424 kg CO ₂ -e |
| Farelo de soja | 25 | | |
| Farinha de vísceras | 5 |  | 29.152 kg CO ₂ -e |
| Milho | 33 | | |
| Quirera de arroz | 5 |  | 17.752 kg CO ₂ -e |
| Farelo de trigo | 15 | | |
| Premix | 1 | | |
| Total | 100 | | |

Figura 3. Cálculo das emissões da produção de tilápias com uma fórmula de ração avaliada em três países distintos, nas mesmas condições de criação. Simulação na base da FAO (Fish-e), realizada em 8 de maio de 2025.

Esta diferença na pegada de carbono está relacionada à origem dos ingredientes. Corroborando com esta simulação, em estudo recente foi recomendado que para rações formuladas na China e destinadas à alimentação de carpa capim seja utilizado o farelo de soja proveniente dos EUA, em comparação com o originado no Brasil, pois naquele caso, a partir da seleção deste ingrediente, houve diminuição de 15% na pegada de carbono (Wang et al., 2022). Além de considerar o impacto do transporte, o impacto da soja brasileira é atribuído ao uso das terras que foram desmatadas e poderiam sequestrar carbono em condições tropicais das florestas que ali existiam. Ou seja, se fosse provada a origem do farelo de soja de áreas sem desmatamento, a pegada de carbono seria muito menor.

A “pegada da soja” refere-se aos impactos ambientais associados à produção da soja, medidos em termos de uso de recursos naturais, emissões de GEE, uso da terra e biodiversidade. Esses impactos podem ser analisados ao longo de todo o ciclo de vida da cultura, desde o plantio até o consumo final de seus derivados, como o farelo de soja, usado majoritariamente como ração animal.

A pegada ambiental da soja pode variar ao redor do mundo, com valores bastante distintos dependendo de onde, como, e em que condições ela é produzida. No Brasil, os valores variam consideravelmente e a estimativa média da pegada de carbono da soja exportada é de 0,69 t CO₂-eq por tonelada de soja (Escobar et al., 2020). Enquanto a pegada da soja produzida na China foi estimada em 3,33 t CO₂-eq por tonelada de soja produzida (Zhang et al., 2023). A mudança no uso da terra (por exemplo, tipo e quando a floresta foi desmatada), as práticas agrícolas empregadas (como uso de fertilizantes, sistema praticado), produtividade, tipo de insumo e energia empregada (como o uso de combustível fóssil) e o método de alocação da análise do ciclo de vida (massa ou valor econômico) são os fatores responsáveis pela variação. Porém, muitas vezes, as particularidades não são consideradas, sendo atribuídas emissões generalizadas e distorcidas, prejudicando o desenvolvimento de cadeias sustentáveis (Nepomuceno et al., 2023). De qualquer forma, para a mitigação das emissões de carbono na produção da soja,

recomenda-se o uso do sistema de plantio direto, adoção do sistema de integração lavoura–floresta, fixação biológica de nitrogênio e redução ou eliminação do desmatamento (De Lima et al., 2022).

Antigamente, a preocupação ambiental relacionada às rações era a presença da farinha de peixe. Hoje, indica-se também rever a origem e presença do farelo de soja. Mesmo no Brasil, de forma geral, o uso do farelo de soja também impacta nas emissões. Considerando a mesma conversão alimentar e condições as de criação, além de semelhante atendimento às exigências nutricionais, as emissões diminuem em quase a metade quando o farelo de soja é substituído pela farinha de carne e ossos. Ou seja, o tipo de ingrediente da ração influencia nas emissões, sobretudo o farelo de soja (Figura 4).

| Ingrediente | Inclusão (%) | Ingrediente | Inclusão (%) | |
|------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|---|
| Farinha de peixe | 16 | Farinha de peixe | 16 |  |
| Farelo de soja | 25 | Farelo de carne e ossos | 25 | |
| Farinha de vísceras | 5 | Farinha de vísceras | 5 | |
| Milho | 33 | Milho | 33 | |
| Quirera de arroz | 5 | Quirera de arroz | 5 | |
| Farelo de trigo | 15 | Farelo de trigo | 15 | |
| Premix | 1 | Premix | 1 | |
| Total | 100 | Total | 100 | |
| 29.152 kg CO ₂ -e | | 14.280 kg CO ₂ -e | | 1,5 CA |
| 29% PB | | 28,2% PB | | |

Figura 4. Cálculo das emissões de CO₂ equivalente da produção de tilápias no Brasil, com as mesmas condições de criação e semelhante atendimento às exigências nutricionais, mas considerando uma ração contendo farelo de soja e outra ração onde o farelo de soja foi substituído por farinha de carne e ossos. Simulação na base da FAO (Fish-e), realizada em 8 de maio de 2025. CA = conversão alimentar.

Corroborando com os resultados desta simulação, observou-se uma redução de até 73% nas emissões com a utilização de rações à base de microrganismos, como aquelas derivadas de *Paecilomyces variotii*, para trutas, em comparação com rações tradicionais à base de soja. Esses ingredientes alternativos podem contribuir para a redução das emissões, assim como, melhorar a eficiência alimentar e o desempenho produtivo dos peixes (Bergman et al., 2023).

Contudo, mesmo com o uso de ingredientes alternativos, é fundamental observar o processo de produção desses insumos. Em estudo com salmão, por exemplo, a substituição da farinha de peixes por rações à base de algas e insetos resultou em maior impacto ambiental, devido à forma como esses ingredientes foram produzidos. Ainda assim, trata-se de opções promissoras, e os autores sugerem diversas estratégias para mitigar seus impactos, tais como: priorizar insumos de menor impacto ambiental, otimizar a logística (reduzindo a distância entre a origem dos insumos e os locais de produção), utilizar coprodutos e fontes de energia renovável, além de considerar o efeito das taxas de conversão alimentar na produção dos peixes (Goglio et al., 2022).

Neste aspecto, a importância da eficiência alimentar pode ser observada quando se utiliza a mesma formulação, porém com os lotes de peixes apresentando desempenho diferente (Figura 5).

A taxa de conversão alimentar está positivamente correlacionada com as concentrações e fluxos de CH₄, indicando que a ração não aproveitada pelos peixes contribui para a emissão de GEE (Yang et al., 2024). Em 2017, já exaltando a importância de considerar a eficiência alimentar, a FAO publicou um documento baseado no Relatório do Workshop sobre “Redução das Taxas de Conversão de Alimentos na Aquicultura Global para reduzir a pegada de carbono e outras pegadas e aumentar a eficiência” (Hasan e Soto, 2017).

| Ingrediente | Inclusão (%) | | | |
|---------------------|--------------|--------|------------------------------|---|
| Farinha de peixe | 16 | 1,7 CA | 32.326 kg CO ₂ -e |  |
| Farelo de soja | 25 | | | |
| Farinha de vísceras | 5 | 1,5 CA | 29.152 kg CO ₂ -e | |
| Milho | 33 | | | |
| Quirera de arroz | 5 | | | |
| Farelo de trigo | 15 | | | |
| Premix | 1 | 1,2 CA | 24.392 kg CO ₂ -e | |
| Total | 100 | | | |

Figura 5. Cálculo das emissões de CO₂ equivalente da produção de tilápias no Brasil considerando a variação de desempenho dos peixes com três taxas de conversão alimentar (CA) para a mesma dieta. Simulação na base da FAO (Fish-e), realizada em 8 de maio de 2025.

Considerações finais

A influência da nutrição e alimentação na emissão de GEE e na pegada de carbono da atividade é notória. Porém, como esses fatores influenciam, podem ser repensados. O passivo que a soja tem é realmente relevante? Substituir o farelo de soja nas rações de peixes é o melhor caminho para diminuir o impacto ambiental da aquicultura? Utilizar ingredientes com menor pegada de carbono, porém menos digestíveis, podem aumentar o impacto?

Recentemente, o grupo de pesquisa (composto por especialistas da Embrapa Agropecuária Oeste e da Universidade Federal da Grande Dourados – Dourados, MS), da Universidade Federal de Juiz de Fora – Juiz de Fora, MG e do Instituto de Pesca – São Paulo, SP) iniciou alguns projetos, com incentivo do governo do estado de Mato Grosso do Sul, da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul (Fundect) e do

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), para estudar a influência da utilização dos ingredientes na emissão de gases. Espera-se obter uma relação entre a digestibilidade da ração e dos ingredientes e a emissão de GEE e, com isso, ter subsídios para avaliar o real impacto ambiental na atividade.

A aquicultura já vem sendo estudada sobre esta perspectiva. Estudo recente noticiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp) e publicado na revista *Nature Sustainability* cita que a aquicultura emite dez vezes menos GEE e utiliza entre 20 e 100 vezes menos terra por tonelada de proteína animal produzida do que a pecuária. Esses resultados impulsionam a atividade como forma de produção sustentável de alimento, sobretudo se forem trabalhados o manejo de resíduos, a nutrição e a alimentação.

É importante salientar que a nutrição e a alimentação têm impacto na emissão de GEE e na pegada de carbono, mas também na geração de resíduos, os quais podem impactar negativamente (degradar e/ou poluir) os corpos hídricos e o solo. A visão geral é importante para definir as condutas adequadas. Para tanto, é necessário conhecer, mensurar e monitorar os impactos da atividade, não somente inferir.

É sabido que os fabricantes de ração estão aptos a produzir diversos tipos de ração, para diversos objetivos dos produtores, ou seja, é necessário existir a demanda para que produtos específicos sejam lançados. Porém, muitas vezes, os produtores tomam decisões baseadas no custo-benefício imediato. Contudo, a piscicultura é uma atividade de risco pelo alto capital de giro que requer e pela forte dependência de fatores ambientais. Isto faz com que o produtor repense sua demanda diante do alto custo com alimentação. Em suma, o componente econômico, geralmente, se torna o principal. Assim, estratégias de valorização de práticas e produtos, incentivos fiscais e/ou pagamentos por serviços ambientais são fundamentais para a adoção de soluções mais sustentáveis. Por sua vez, a produtividade e a resiliência das atividades estão relacionadas aos recursos naturais e às condições ambientais. E, não menos importante, o aspecto social de forma direta e indireta está relacionado aos anteriores.

A piscicultura é uma atividade com crescimento expressivo e com ótimas perspectivas de expansão diante do potencial nacional em aumento do consumo de pescado e ampliação da produção em áreas continentais a serem exploradas. No entanto, o aumento da produção de peixes resultará em maior produção de resíduos. Assim, para a melhor gestão destes resíduos, com consequente redução do impacto ambiental, a adequação da nutrição e da alimentação é fundamental, resultando em maior eficiência de produção dos peixes e menor geração de resíduos, que devem ser reciclados e reintroduzidos ao sistema produtivo.

Referências

- BAO, T.; WANG, X.; FANG, F.; FENG, J.; LI, F. Effects of vegetable–fish co-culture on CH₄ and N₂O emissions from an aquaculture pond. **Agronomy**, v. 13, n. 5, e1230, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13051230>.
- BERGMAN, K.; WOODHOUSE, A.; LANGELAND, M.; VIDAKOVIC, A.; ALRIKSSON, B.; HORNBORG, S. Environmental and biodiversity performance of a novel microorganism protein for rainbow trout feed. **Science of The Total Environment**, v. 907, e168018, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168018>.
- CHAKROBORTY, K.; LIMA, R. A.; HOSSAIN, Md. F. Biobased functional feed additives in Asian aquaculture: Trends, impacts, and future directions. **Animal Feed Science and Technology**, v. 320, e116222, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2025.116222>.
- CHEN, G.; BAI, J.; BI, C.; WANG, Y.; CUI, B. Global greenhouse gas emissions from aquaculture: a bibliometric analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 348, e108405, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108405>.

CHOUDHURY, A.; LEPINE, C.; WITARSA, F.; GOOD, C. Anaerobic digestion challenges and resource recovery opportunities from land-based aquaculture waste and seafood processing byproducts: a review. **Bioresource Technology**, v. 354, e127144, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127144>.

DALBEM BARBOSA, A. P.; KOSTEN, S.; MUNIZ, C. C.; OLIVEIRA-JUNIOR, E. S. From feed to fish—Nutrients' fate in aquaculture systems. **Applied Sciences**, v. 14, n. 14, e6056, 2024. <https://doi.org/10.3390/app14146056>. Edição especial: Technologies and Modern Techniques for Advancing Sustainable Aquaculture.

DE LIMA, C. Z.; ESTEVAM, C. G.; PAVÃO, E. M.; PINTO, T. P.; ASSAD, E. D. **Greenhouse gases mitigation potential of soy farming decarbonization actions to be taken by 2030**. São Paulo, SP: FGV-EESP, 2022. 40 p. (Observatório de Conhecimento e Inovação em Bioeconomia).

DENG, M.; YEERKEN, S.; WANG, Y.; LI, L.; LI, Z.; OON, Y.-S.; OON, Y.-L.; XUE, Y.; HE, X.; ZHAO, X.; SONG, K. Greenhouse gases emissions from aquaculture ponds: Different emission patterns and key microbial processes affected by increased nitrogen loading. **Science of The Total Environment**, v. 926, e172108 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172108>.

ESCOBAR, N.; TIZADO, E. J.; ZU ERMGASSEN, E. K. H. J.; LÖFGREN, P.; BÖRNER, J.; GODAR, J. Spatially-explicit footprints of agricultural commodities: mapping carbon emissions embodied in Brazil's soy exports. **Global Environmental Change**, v. 62, e102067, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102067>.

FAO. **The state of World Fisheries and Aquaculture 2020**: sustainability in action. Rome, 2020. 224 p. DOI: <https://doi.org/104060/ca9229en>.

FILONCHYK, M.; PETERSON, M. P.; ZHANG, L.; HURYNOVICH, V.; HE, Y. Greenhouse gases emissions and global climate change: examining the influence of CO₂, CH₄, and N₂O. **Science of The Total Environment**, v. 935, e173359, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173359>.

GOGLIO, P.; VAN DEN BURG, S.; KOUSOUIAKI, K.; SKIRTUN, M.; ESPMARK, A. M.; KETTUNEN, A. H.; ABBINK, W. The environmental impact of partial substitution of fish-based feed with algae- and insect-based feed in salmon farming. **Sustainability**, v. 14, n. 19, e12650, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141912650>.

HASAN, M. R.; SOTO, D. **Improving feed conversion ratio and its impact on reducing greenhouse gas emissions in aquaculture**. Rome: FAO, 2017. 33 p. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i7688en>. Acesso em: 8 abr. 2025.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. do. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia: Sbera; Embrapa Suínos e Aves, 2019. 209 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1108617>. Acesso em: 8 abr. 2025.

LOVELOCK, C. L.; EVANS, C.; BARROS, N.; PRAIRIE, Y.; ALM, J.; BASTVIKEN, D.; BEAULIEU, J. J.; GARNEAU, M.; HARBY, A.; HARRISON, J.; PARE, D.; RAADAL, H. L.; SHERMAN, B.; ZHANG, C.; OGLE, S. M. Wetlands. In: Calvo Buendia, E.; Tanabe, K.; Kranjc, A.; Baasansuren, J.; Fukuda, M.; Ngarize S.; Osako, A.; Pyrozhenko, Y.; Shermanau, P.; Federici, S. (Ed.). **2019 Refinement to the 2006: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: agriculture, forestry and other land use**. [S.I.]: IPCC, 2019. v. 4, cap. 7. Disponível em: <https://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>. Acesso em: 8 abr. 2025.

MACLEOD, M. **User guide to FISH-e**: FAO's tool for quantifying the greenhouse gas emissions arising from aquaculture: version FISH-e v1. Edinburgh: SRUC, 24 ago. 2017. 10 p. Disponível em: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/affris/docs/FISHe/FISH-e_feedback_form.docx. Acesso em: 8 abr. 2025.

MELO JÚNIOR, A. M. da; KOSTEN, S.; DUQUE, V. L. da C.; SANTOS, A. A. O.; AMADO, A. M.; SORANÇO, L. C.; DREISE, J.; MARTINS, A. C.; NASÁRIO, J.; BARBOSA, A. P. D.; MUZITANO, I. S.; CARDOSO, G. M.; BARBOSA, I.; PARANAÍBA, J. R.; OLIVEIRA, G. R. de; ALMEIDA, R.; ROLAND, F.; BARROS, N. Low carbon footprint of Nile tilapia farming with recirculation aquaculture. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 217, e108201, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2025.108201>.

NEPOMUCENO, A. L.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; RUFINO, C. F. G.; DEBIASI, H.; NOGUEIRA, M. A.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, F. V.; MONTEIRO, R. A. C.; ALMEIDA, R. G. de; BUNGENSTAB, D. J.; AGNOL, V. F. D. **Programa SBC – Soja Baixo Carbono**: um novo conceito de soja sustentável. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2023. 12 p. (Embrapa Soja. Comunicado Técnico, 100).

SOUZA, V. F.; ENRICH-PRAST, A. Óxido nitroso (N₂O) em ambientes aquáticos continentais: produção, fatores reguladores e fluxos de diferentes ambientes. **Oecologia Australis**, v. 16, n. 2, p. 311-329, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4257/oeco.2012.1602.09>.

SYROPOULOU, E.; SIPKEMA, D.; SMIT, S. E.; SCHRAMA, J. W.; KOKOU, F. Aquaculture faecal waste generates different products during anaerobic digestion depending on nutrient composition. **Journal of Environmental Management**, v. 370, e122826, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122826>.

VROOM, R. J. E.; KOSTEN, S.; ALMEIDA, R. M.; MENDONÇA, R.; MUZITANO, I. S.; BARBOSA, I.; NASÁRIO, J.; OLIVEIRA JUNIOR, E. S.; FLECKER, A. S.; BARROS, N. Widespread dominance of methane ebullition over diffusion in freshwater aquaculture ponds. **Frontiers in Water**, v. 5, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/frwa.2023.1256799>.

WALDEMER, C.; KOSCHORRECK, M.; HERZSPRUNG, P.; LECHTENFELD, O. J.; GAO, S. Anaerobic degradation of excess protein-rich fish feed drives CH₄ ebullition in a freshwater aquaculture pond. **Science of the Total Environment**, v. 954, e176514, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176514>.

WANG, S.; CHENG, L.; LIU, X. Comparative study on the carbon footprints of extruded and pelleted feed and their potential for carbon reduction: a case study of grass carp feed. **Journal of Cleaner Production**, v. 381, pt. 2, e135192, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135192>.

WILFART, A.; GARCIA-LAUNAY, F.; TERRIER, F.; SOUDÉ, E.; AGUIRRE, P.; SKIBA-CASSY, S. A step towards sustainable aquaculture: multiobjective feed formulation reduces environmental impacts at feed and farm levels for rainbow trout. **Aquaculture**, v. 562, e738826, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738826>.

YANG, P.; ZHANG, L.; LIN, Y.; YANG, H.; LAI, D. Y. F.; TONG, C.; ZHANG, Y.; TAN, L.; ZHAO, G.; TANG, K. W. Significant inter-annual fluctuation in CO₂ and CH₄ diffusive fluxes from subtropical aquaculture ponds: implications for climate change and carbon emission evaluations. **Water Research**, v. 249, e120943, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120943>.

ZHANG, Q.; HONG, J.; ZHANG, T.; TIAN, X.; GENG, Y.; CHEN, W.; ZHAI, Y.; LIU, W.; SHEN, X.; BAI, Y. Environmental footprints of soybean production in China. **Environment, Development and Sustainability**, v. 25, p. 9047-9065, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02424-1>.

