

**Marco Augusto Giannoccaro da Silva
Helcileia Dias Santos
Sandro Estevan Moron
(Organizadores)**

**Perspectivas
interdisciplinares
em saúde e
produção animal
na Amazônia Legal**



Copyright © Autoras e autores

Todos os direitos garantidos. Qualquer parte desta obra pode ser reproduzida, transmitida ou arquivada desde que levados em conta os direitos das autoras e dos autores.

Marco Augusto Giannoccaro da Silva; Helcileia Dias Santos; Sandro Estevan Moron [Orgs.]

Perspectivas interdisciplinares em saúde e produção animal na Amazônia Legal. São Carlos: Pedro & João Editores, 2025. 246p. 16 x 23cm.

ISBN: 978-65-265-2527-2 [Digital]

1. Bem-estar animal. 2. Biodiversidade. 3. Sanidade animal. 4. Saúde única. 5. Sustentabilidade. I. Título.

CDD – 570/900

Capa: Luidi Belga Ignacio

Ficha Catalográfica: Hélio Márcio Pajeú – CRB - 8-8828

Revisão: Zaira Mahmud

Diagramação: Diany Akiko Lee

Editores: Pedro Amaro de Moura Brito & João Rodrigo de Moura Brito

Conselho Editorial da Pedro & João Editores:

Augusto Ponzio (Bari/Itália); João Wanderley Geraldi (Unicamp/Brasil); Hélio Márcio Pajeú (UFPE/Brasil); Maria Isabel de Moura (UFSCar/Brasil); Maria da Piedade Resende da Costa (UFSCar/Brasil); Valdemir Miotello (UFSCar/Brasil); Ana Cláudia Bortolozzi (UNESP/Bauru/Brasil); Mariangela Lima de Almeida (UFES/Brasil); José Kuiava (UNIOESTE/Brasil); Marisol Barenco de Mello (UFF/Brasil); Camila Caracelli Scherma (UFFS/Brasil); Luís Fernando Soares Zuin (USP/Brasil); Ana Patricia da Silva (UERJ/Brasil).



Pedro & João Editores

www.pedroejoaoeditores.com.br

13568-878 – São Carlos – SP

2025

Capítulo 3

Uso de fitoterápicos no transporte de peixes

Eduardo Libanio Reis Santos
Fabrício Pereira Rezende
Sandro Estevan Moron

1. Introdução

A aquicultura tem se consolidado como um dos setores mais dinâmicos da produção animal mundial, destacando-se pelo crescimento expressivo do cultivo de peixes nas últimas décadas. Essa expansão está diretamente relacionada ao aumento da demanda global por proteína de origem aquática, impulsionada pelo crescimento populacional, mudanças nos padrões alimentares e busca por fontes mais saudáveis de alimento.

O Brasil se configura como um dos países com maior potencial para o desenvolvimento da piscicultura, sobretudo em ambientes dulcícolas. Com uma vasta disponibilidade hídrica, incluindo cerca de 8.500 km de zona costeira e aproximadamente 5 milhões de hectares de águas continentais, o país reúne condições ambientais favoráveis à expansão da atividade, tanto em sistemas naturais quanto em estruturas artificiais de produção (Moreno, 2023; Leite *et al.*, 2024).

Durante o ciclo produtivo, os peixes são rotineiramente submetidos a diferentes manejos, os quais, embora imprescindíveis para a eficiência zootécnica e sanitária, atuam como agentes estressores ao induzirem alterações na homeostase dos organismos aquáticos. Procedimentos como captura, biometria, vacinação,

indução hormonal e, em especial, o transporte, desencadeiam uma cascata de respostas neuroendócrinas que caracterizam o estresse fisiológico nos peixes (Barton, 2002).

A resposta ao estresse nos peixes é mediada principalmente pelo eixo hipotálamo-hipófise-interrenal (HPI), análogo ao eixo HHA em mamíferos. A ativação desse eixo leva à liberação de catecolaminas (adrenalina e noradrenalina) e glicocorticoides, como o cortisol, que promovem ajustes metabólicos, imunológicos e comportamentais em resposta ao agente estressor (Urbinati *et al.*, 2015). Esses ajustes incluem o aumento da glicose plasmática, mobilização de reservas energéticas, acidose respiratória, desequilíbrio iônico e aumento da excreção de amônia, todos efeitos que, se persistirem por longos períodos ou ocorrerem com frequência, comprometem significativamente a saúde e o desempenho dos peixes.

O estresse crônico ou repetido pode levar à imunossupressão, reduzindo a resistência a infecções oportunistas, afetando a cicatrização tecidual e o crescimento somático, além de interferir nos processos reprodutivos (Tort *et al.*, 2011). Em ambientes de produção intensiva, essa condição favorece surtos de doenças, aumento das taxas de mortalidade e perda da eficiência alimentar, fatores que, somados, reduzem a produtividade e a rentabilidade da piscicultura (Dara *et al.*, 2023).

Dentre os manejos mencionados, o transporte é amplamente reconhecido como uma das etapas mais críticas, pois envolve múltiplos fatores estressantes simultâneos, como confinamento, vibrações, oscilações de temperatura, variações nos níveis de oxigênio dissolvido e acúmulo de metabólitos tóxicos como a amônia (Harmon, 2009; Fang *et al.*, 2023). Além disso, a manipulação física durante a captura e o empacotamento pode resultar em lesões mecânicas e perda de muco, prejudicando as barreiras de defesa natural dos peixes (Vanderzwalmen *et al.*, 2019).

Portanto, mitigar o estresse durante o transporte é uma prioridade nas boas práticas de manejo, não apenas por razões éticas e sanitárias, mas também como estratégia essencial para

preservar o desempenho zootécnico, viabilidade econômica da produção aquícola e, sobretudo, o bem-estar dos animais.

2. Manejo do estresse durante o transporte de peixes: importância de aditivos funcionais

Nas pisciculturas, o transporte de peixes vivos constitui uma atividade rotineira e essencial à cadeia produtiva, seja para movimentação entre viveiros, transferência para outras unidades de cultivo, comercialização ou envio ao abate. No entanto, essa prática representa uma das fases mais críticas do manejo, pois impõe múltiplos estressores aos animais, comprometendo sua homeostase e integridade fisiológica (Inoue *et al.*, 2005). Além do deslocamento propriamente dito, o processo envolve etapas como a captura, manipulação, empacotamento e confinamento em espaços reduzidos.

Dois sistemas principais são empregados para o transporte de peixes: o sistema aberto e o sistema fechado. No sistema aberto, os peixes são transportados em caixas contendo água com fornecimento contínuo de oxigênio, geralmente por compressores ou cilindros (Sampaio; Freire, 2016). Já no sistema fechado, mais amplamente utilizado para o transporte de alevinos e juvenis, os peixes são acondicionados em sacos plásticos selados, contendo uma mistura de água e oxigênio puro, sem recirculação (Souza *et al.*, 2019). Esse modelo é favorecido por sua viabilidade logística e econômica, pois permite o transporte de grandes quantidades de animais com menor volume de água, reduzindo peso e custo.

Apesar dessas vantagens operacionais, o transporte em sistema fechado apresenta desafios fisiológicos consideráveis. Fatores como densidade de estocagem, tempo de transporte, oscilação térmica e acúmulo de metabólitos (ex. amônia e CO₂) podem afetar negativamente a qualidade da água e o bem-estar dos peixes, elevando o risco de mortalidade (Oliveira *et al.*, 2009). A redução do espaço disponível, aliada à hipoxia progressiva e ao estresse mecânico, exige uma cuidadosa adequação dos protocolos

de manejo. Diante disso, otimizar o transporte envolve equilibrar a máxima densidade de peixes com o menor volume de água possível, minimizando ao mesmo tempo o estresse animal, a deterioração da qualidade da água e as perdas por mortalidade (Bai *et al.*, 2024).

Nesse cenário, cresce a necessidade de incorporar aditivos que auxiliem na redução do estresse durante o transporte. Substâncias como o sal (NaCl), que auxilia na osmorregulação, e anestésicos naturais, como os óleos essenciais de plantas, vêm sendo empregados com o objetivo de reduzir a atividade metabólica, minimizar o consumo de oxigênio, limitar a excreção de resíduos nitrogenados e preservar a integridade dos tecidos (Santos *et al.*, 2020). Tais medidas não apenas aumentam a taxa de sobrevivência pós-transporte, como também promovem melhores índices zootécnicos e favorecem práticas mais sustentáveis e eficientes na piscicultura moderna.

3. Aditivos fitoterápicos potenciais para o transporte

Para mitigar esses desafios impostos pelo manejo do transporte, diversas estratégias têm sido empregadas, incluindo a depuração prévia dos animais e a adição de substâncias como sal e anestésicos à água de transporte. O sal comum (NaCl) atua na regulação osmótica, reduzindo a perda de íons e o desequilíbrio eletrolítico (Martins *et al.*, 2024), enquanto os anestésicos diminuem a atividade metabólica, o consumo de oxigênio e a agitação dos peixes durante o transporte (Purbosari *et al.*, 2019). Entretanto, os anestésicos sintéticos tradicionalmente utilizados, como a benzocaína e o MS-222, podem causar efeitos colaterais indesejáveis, como alterações fisiológicas e histopatológicas (Karim *et al.*, 2024; Minaz *et al.*, 2025). Esses compostos podem causar efeitos colaterais significativos, como lesões em brânquias e córnea, além de apresentarem risco de bioacumulação e contaminação ambiental.

Diante dessas limitações, os fitoterápicos com propriedades sedativas emergem como alternativas tecnicamente viáveis,

economicamente acessíveis e ecologicamente sustentáveis para o manejo de peixes durante o transporte, destacando-se não apenas por suas propriedades anestésicas e analgésicas, mas também por seus efeitos secundários benéficos, como a modulação do estresse oxidativo e a proteção contra infecções oportunistas (Leite *et al.*, 2022; Metin *et al.*, 2024). Seu mecanismo de ação está frequentemente associado à interação com receptores do sistema nervoso central, promovendo depressão temporária da atividade neuronal e redução da percepção de estímulos adversos, o que resulta em sedação, analgesia e, em doses adequadas, anestesia eficaz (Zeng *et al.*, 2024).

Diversos óleos essenciais vêm sendo objeto de estudos científicos pela sua eficácia como sedativos, antioxidantes e agentes imunomoduladores no manejo de peixes durante o transporte. Dentre eles, destacam-se os óleos de capim-limão (*Cymbopogon citratus*), alecrim-pimenta (*Lippia sidoides*), manjerição (*Ocimum gratissimum*), óleo de gengibre (*Zingiber officinale*) óleo de cravo (*Eugenia spp.*) e óleo de melaleuca (*Melaleuca alternifolia*), todos com perfis fitoquímicos distintos e mecanismos de ação neurofisiológica compatíveis com a redução do estresse em peixes.

O óleo de capim-limão é rico em citral, um monoterpenoide com potente atividade sedativa e antioxidante. Estudos com peixes *Oreochromis niloticus* demonstraram que a adição desse óleo 0,10 ml/L na água de transporte induz sedação leve a moderada, efeito significativo na sobrevivência, glicemia, eritrócitos e leucócitos (Aryanti *et al.*, 2022).

O óleo essencial de alecrim-pimenta natural do semiárido brasileiro, contém como principais compostos ativos o timol e o carvacrol, conhecidos por suas propriedades antimicrobianas, antioxidantes e levemente sedativas. Em estudos com peixes *Colossoma macropomum*, concentrações entre 10 e 20 mg/L foram capazes de melhorar a qualidade da água durante o transporte, minimizar o estresse fisiológico e auxiliar na manutenção da demanda energética (Brandão *et al.*, 2022).

O óleo de *O. gratissimum*, rico em eugenol, timol e linalol, tem sido testado em diversas espécies de peixes, com destaque para *Rhamdia quelen* e *Piaractus mesopotamicus*. Em concentrações de 30 a 60 mg/L, promove sedação em tempo adequado (3–6 min) e recuperação segura (<10 min), conforme os parâmetros de anestesia leve definidos por Ross e Ross (2008). Além disso, estudos histopatológicos revelaram integridade preservada de brânquias, fígado e rins mesmo após exposições repetidas ao óleo em protocolos de transporte simulados (Gressler *et al.*, 2014). Esses resultados sugerem toxicidade reduzida e segurança para uso em sistemas comerciais.

O uso de 30 mg/L de óleo essencial de *Z. officinale* teve um efeito sedativo em peixes pacus juvenis (*Piaractus mesopotamicus*), reduzindo assim o consumo de oxigênio durante o transporte. Além disso, preveniu o aumento da hemoglobina e do hematócrito, com influências mínimas em outras variáveis sanguíneas, denotando assim sua eficácia nesta espécie (Moreira *et al.*, 2024).

Dentre os fitoterápicos mais estudados, o óleo de cravo sobressai-se pelo seu elevado teor de eugenol (4-alil-2-metoxifenol), um composto fenólico que atua como agonista de canais de GABA, induzindo depressão do sistema nervoso central em peixes (Priborsky; Velíšek, 2018). Estudos demonstram que concentrações entre 40 e 100 mg/L são eficazes para sedação durante o transporte, reduzindo o consumo de oxigênio em até 30% e minimizando as respostas de cortisol ao estresse (Santos *et al.*, 2020; Souza *et al.*, 2021). Além disso, seu efeito antioxidante protege os tecidos branquiais e hepáticos contra danos induzidos por radicais livres durante a hipóxia transitória (Gressler *et al.*, 2014).

Outro que merece destaque é óleo da árvore do chá. Este óleo apresenta um perfil multifuncional, combinando atividade anestésica (terpinen-4-ol como princípio ativo) com propriedades imunomoduladoras e antimicrobianas (Rezende *et al.*, 2017; Santos *et al.*, 2020). Seu uso no transporte é particularmente vantajoso por inibir o crescimento de *Aeromonas* spp. e *Saprolegnia* spp.,

patógenos oportunistas que se proliferam em condições de confinamento (Oliveira *et al.*, 2011).

A sinergia entre esses fitoterápicos e adjuvantes como o sal (1–8 g/L) tem sido explorada para potencializar a osmorregulação e reduzir a carga metabólica durante o transporte (Silva *et al.*, 2022). Contudo, a padronização de protocolos exige atenção a fatores como espécie, estágio de desenvolvimento e condições ambientais, já que a eficácia pode variar conforme a sensibilidade específica a cada composto, requerendo assim investigações minuciosas (Reis *et al.*, 2024).

4. Óleo de melaleuca e óleo de cravo no transporte de *Colossoma macropomum*

O tambaqui (*Colossoma macropomum*), espécie-chave da aquicultura brasileira, destaca-se pela sua adaptabilidade, rápido crescimento e aceitação no mercado, sendo a principal espécie nativa produzida no país (Oliveira *et al.*, 2024). No entanto, o transporte de juvenis dessa espécie ainda é majoritariamente realizado em sacos plásticos, método que exige aprimoramentos para garantir maior eficiência e bem-estar animal. Diante disso, avaliamos o efeito de diferentes concentrações de óleo de cravo, óleo da árvore do chá e sal na sobrevivência e na qualidade da água durante o transporte simulado de tambaquis, visando estabelecer protocolos mais seguros e eficientes para o transporte.

No experimento foram testados diferentes tratamentos na água de transporte: óleo de melaleuca (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 ml/L), óleo de cravo (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 ml/L), uma mistura dos dois óleos na proporção 1:1 (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 ml/L), sal (8 g/L), além de combinações de 1,0 ml/L de cada óleo ou da mistura com 8 g/L de sal. O grupo controle não recebeu nenhum aditivo. Os peixes foram acondicionados em sacos plásticos com densidade de até 300 kg/m³, os quais foram inflados com oxigênio e fechados, com cinco repetições por tratamento. Durante o transporte, foram avaliados o comportamento, a sobrevivência e os parâmetros de qualidade da água. Os dados

obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias paramétricas comparadas pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Para dados não paramétricos, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis. Quando aplicável, também foram realizadas análises de regressão. Todas as análises foram processadas no *software* GraphPad Prism 5.0. Os procedimentos experimentais foram aprovados pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA).

4.1 Qualidade da água após o transporte

O monitoramento rigoroso da qualidade da água é essencial para garantir o sucesso da operação de transporte. A redução do volume de água transportada é uma estratégia relevante, desde que o bem-estar animal seja preservado, pois contribui para a diminuição do peso final da carga e otimiza a logística do processo. A densidade adequada de carregamento em sistemas fechados deve considerar diversos fatores, como espécie, idade, peso individual, coeficiente de espaço livre, temperatura, qualidade da água e duração do transporte (Kamalam *et al.*, 2017).

Os resultados da análise dos parâmetros de qualidade da água durante o transporte do tambaqui são mostrados na Figura 1. A temperatura não apresentou alteração significativa após a simulação de transporte. A estabilidade térmica da água nos sacos plásticos foi mantida durante todo o transporte, permanecendo dentro da faixa de conforto da espécie (25°C a 30°C) (Silva *et al.*, 2013). Esse resultado era esperado devido ao acondicionamento adequado das embalagens e ao controle da temperatura externa (27°C a 28°C), minimizando o impacto térmico sobre os peixes.

Em contraste, os outros parâmetros, como oxigênio dissolvido, pH e amônia, foram alterados ($p < 0,05$) de acordo com a densidade, o tratamento e a duração do transporte do tambaqui. O oxigênio dissolvido reduziu-se significativamente ($p < 0,05$) em todos os tratamentos após o transporte, em comparação com os valores registrados antes do transporte. Diferenças significativas entre alguns tratamentos foram observadas. Os tratamentos com as

doses mais altas de óleo de melaleuca e a mistura de óleo de melaleuca e cravo influenciaram o consumo de oxigênio dissolvido, mantendo os níveis mais elevados que os demais.

A diminuição do pH foi observada em todos os tratamentos, sendo mais pronunciada nos grupos sem aditivos, devido ao acúmulo de dióxido de carbono resultante da respiração dos peixes, conforme descrito por Kamalam *et al.* (2017). Anjos *et al.* (2011) também relataram redução significativa do pH no transporte de alevinos submetidos ao uso de sal, gesso e óleo de cravo por 12 horas.

Apesar das variações nos níveis de oxigênio dissolvido entre os tratamentos, as concentrações permaneceram mais elevadas nos grupos sedados com doses mais altas de óleo de cravo e óleo de melaleuca (2,0 ml/L), indicando um impacto positivo no estresse e na qualidade da água. Esse achado é consistente com estudos anteriores, que demonstraram que o óleo de cravo a 15 mg/L reduziu a excreção de amônia no transporte de tilápias por 4 horas (Moreira; Farias, 2015). Resultados semelhantes foram encontrados por Boaventura *et al.* (2021) e Boaventura *et al.* (2025), ao avaliarem os efeitos dos óleos essenciais de *Ocimum gratissimum* e tomilho (*Thymus vulgaris*), respectivamente.

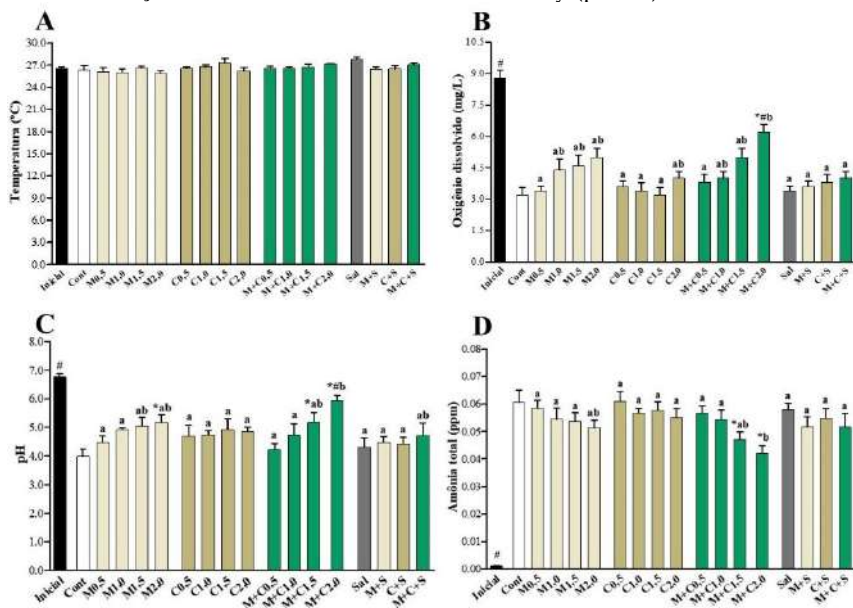
A amônia aumentou significativamente em todos os grupos experimentais. Os tratamentos com óleos sedativos, especialmente o composto de melaleuca e cravo na maior concentração, foram eficientes em retardar a excreção desse metabólito, observado pelos valores mais baixos em relação aos outros tratamentos. O pH apresentou redução significativa na maioria dos tratamentos quando comparado aos valores iniciais. Na comparação entre os tratamentos, a maior concentração do composto misto de melaleuca e cravo influenciou os níveis desse parâmetro, já que os valores ao final do transporte foram semelhantes aos iniciais e maiores do que em alguns tratamentos.

O aumento das concentrações de amônia reflete o tempo de confinamento dos peixes e a consequente excreção de metabólitos, fenômeno comumente registrado após o procedimento de transporte (Fang *et al.*, 2023; Luz; Favero, 2024). Essa tendência é

mais acentuada em transportes prolongados (Martins *et al.*, 2024). No entanto, a adição de sedativos reduziu significativamente esse efeito, como demonstrado pela menor concentração de amônia nos grupos tratados com doses mais altas de óleos essenciais, que promoveram sedação e, conseqüentemente, menor metabolismo e consumo de oxigênio (Harmon, 2009).

Os peixes expostos a concentrações mais baixas de óleos ou apenas ao sal não apresentaram sedação, mantendo comportamento ativo e metabolismo elevado, o que contribuiu para maior deterioração da qualidade da água. A água tornou-se esbranquiçada e viscosa, indicando perda excessiva de muco, o que pode comprometer a osmorregulação dos peixes (Vanderzwalmen *et al.*, 2019). Esse efeito foi observado por Moreira e Farias (2015) em tilápias transportadas com baixas concentrações de óleo de cravo e por Gomes *et al.* (2006), que relataram que a adição de sal (3000 mg/L) não reduziu o estresse em tambaquis, podendo até ter contribuído para mortalidade devido a disfunções osmorregulatórias. Da mesma forma, Gomes *et al.* (1999) descreveram que o sal aumentou a mortalidade de juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*) durante o transporte.

Figura 1. Parâmetros de qualidade da água antes (Inicial) e depois da simulação de transporte de tambaqui em tratamentos com óleo de melaleuca (M), óleo de cravo (C), óleos mistos (M+S) e sal (S). # Indica diferença em relação ao valor inicial; * indica diferença em relação ao controle; letras diferentes indicam diferenças entre os tratamentos. Teste de Tukey ($p<0,05$). Fonte: Autor.



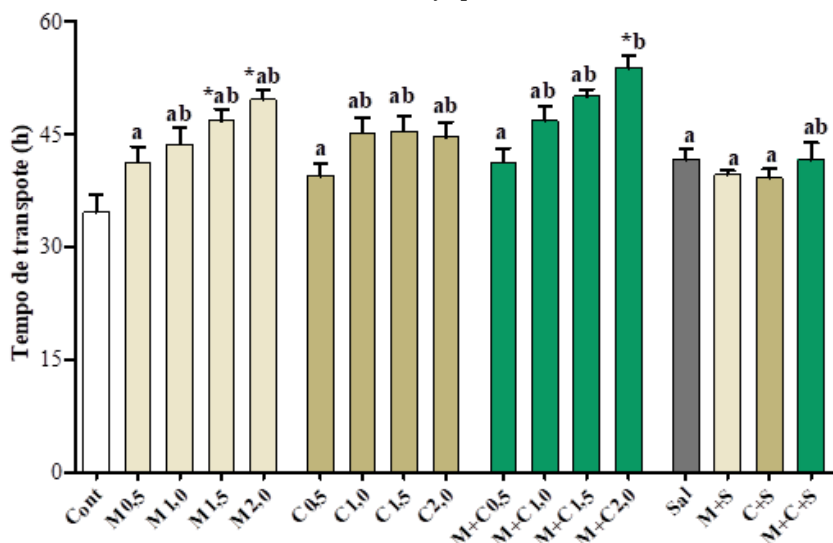
4.2 Tempo de transporte

A duração do transporte influenciou significativamente os níveis de estresse, sendo que os peixes transportados sem aditivos apresentaram maior agitação, abrasão mecânica e deterioração da qualidade da água, resultando em maiores taxas de mortalidade durante a recuperação. Mesmo com um tempo menor de transporte, a mortalidade nesses grupos foi elevada, possivelmente devido à ausência de sedativos e ao estresse acumulado (Harmon, 2009).

O tempo médio de transporte para cada tratamento é apresentado na Figura 2. Como mostra a figura, o menor tempo de transporte foi observado no grupo sem adição de aditivos. Já a maior duração do transporte foi registrada no tratamento com

óleos sedativos. Dentre esses tratamentos, o que utilizou 2,0 ml/L de óleo de melaleuca misturado com óleo de cravo proporcionou a maior duração. Isso mostra que a combinação de óleos de melaleuca e cravo permitiu tempos de transporte mais longos, com menor impacto negativo, reforçando o efeito sinérgico desses compostos na redução do estresse.

Figura 2. Tempo médio de transporte do tambaqui com tratamentos de óleo de melaleuca (M), óleo de cravo (C), óleos mistos (M+S) e sal (S). * Indica diferença em relação ao controle (Cont); letras diferentes indicam diferenças entre os tratamentos. Teste de Tukey ($p < 0,05$). Fonte: Autor.

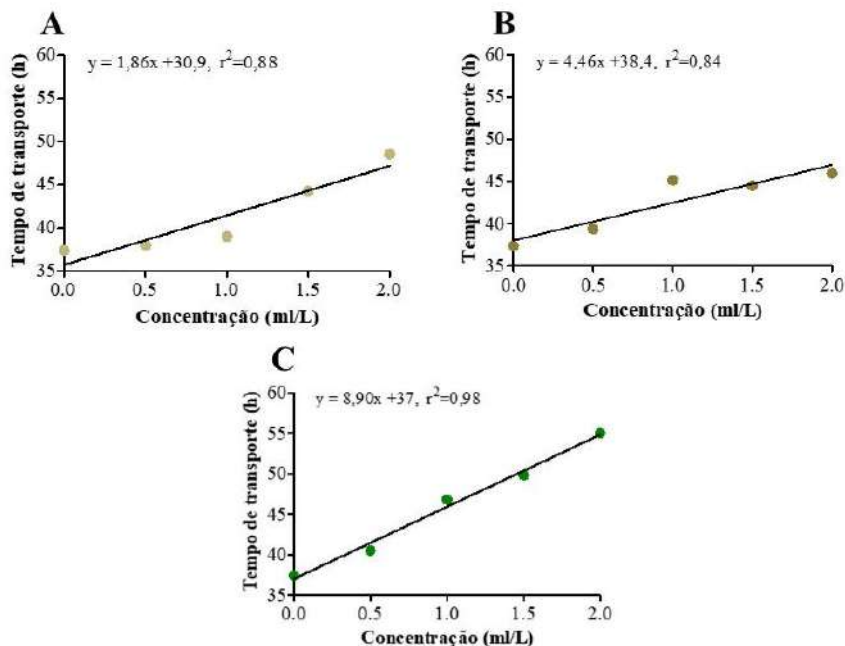


A análise do efeito entre as diferentes concentrações para cada tipo de óleo sedativo isoladamente, por meio de regressão linear, demonstra que houve um aumento na resposta do tempo de transporte (Figura 3). Esse resultado sugere uma relação dose-dependente, em que concentrações mais elevadas dos óleos potencializam o efeito sedativo nos peixes, prolongando o tempo até que ocorra agitação ou estresse visível durante o transporte. Tal comportamento é coerente com a literatura, que relata que o aumento da concentração de compostos com propriedades

sedativas pode abrandar a resposta fisiológica dos peixes, favorecendo sua estabilidade e reduzindo o metabolismo basal (Cunha; Rosa, 2006).

Figura 3. Estimativa do tempo de transporte de tambaqui em relação aos tratamentos com óleo de melaleuca (A), óleo de cravo (B) e óleos mistos (C).

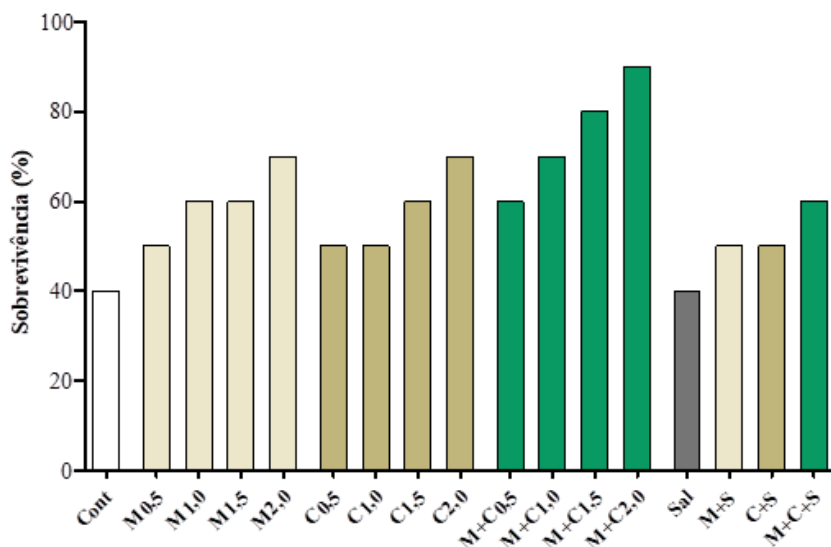
Fonte: Autor.



4.3 Sobrevivência após recuperação

As taxas de sobrevivência registradas durante a recuperação por 96 h após os tambaquis terem sido submetidos à simulação de transporte são mostradas abaixo (figura 4). Maiores concentrações de óleos sedativos mostraram maiores taxas de sobrevivência. Controle e baixas concentrações de óleos promoveram maior mortalidade.

Figura 4. Sobrevivência do tambaqui após recuperação por 96 h do transporte com tratamentos com óleo de melaleuca (M), óleo de cravo (C), óleos mistos (M+C) e sal (S). Fonte: Autor.



Durante a recuperação, a retomada do comportamento alimentar foi um indicador da magnitude do estresse experimentado pelos peixes. Os tambaquis tratados com doses mais altas de sedativos retomaram a alimentação mais rapidamente, alinhando-se às observações de Gomes *et al.* (2003), que relataram que peixes menos estressados voltam a se alimentar em até 48 horas, indicando recuperação fisiológica. Os valores de cortisol, segundo esses autores, retornam a níveis basais nesse período, sugerindo homeostase.

A sobrevivência dos tambaquis após 96 horas de recuperação foi diretamente influenciada pelo estresse do transporte, corroborando Barton (2002), que descreve esse processo como um conjunto de múltiplos estímulos adversos que comprometem o desempenho, a imunidade e a resistência a doenças. Navarro *et al.* (2017) também relataram altas taxas de mortalidade de pacamãs (*L. alexandri*) nas primeiras 24 horas pós-transporte devido ao estresse. No presente estudo, a maior taxa de sobrevivência foi observada

no tratamento combinado com 2,0 ml/L, evidenciando o potencial dos sedativos na mitigação do estresse, na melhoria da qualidade da água e no comportamento alimentar pós-transporte.

5. Considerações finais

O efeito sinérgico do óleo de melaleuca associado ao óleo de cravo, na concentração de 2 ml/L, demonstrou-se uma alternativa fitoterápica eficaz para a sedação de tambaquis em sistemas de transporte fechado. Essa combinação não apenas reduziu o estresse metabólico dos peixes, como também minimizou a deterioração da qualidade da água, garantindo maior sobrevivência e recuperação mais rápida pós-transporte. A utilização de fitoterápicos como sedativos naturais representa uma abordagem sustentável e menos agressiva em comparação a métodos convencionais, alinhando-se às demandas por práticas de aquicultura que priorizam o bem-estar animal e a redução de impactos ambientais. Além disso, o uso desses compostos pode diminuir custos operacionais e reduzir a dependência de substâncias sintéticas, que muitas vezes apresentam efeitos colaterais indesejados. Entretanto, ressaltamos a necessidade de mais investigações quanto aos efeitos fisiológicos específicos desses óleos essenciais em diferentes fases de desenvolvimento do tambaqui, bem como em condições operacionais variadas.

6. Referências

- ARYANTI, A. S.; HARWANTO, D.; YUNIARTI, T. The Effect of Different Doses of Citronella Oil (*Cymbopogon citratus*) as Anesthetic for Prospective Tilapia Broodstock (*Oreochromis niloticus*) in Closed Transportation System. **Omni-Akuatika**, v. 18, n. 2, p. 179-188, 2022.
- ANJOS, G. M.; SOARES, E. C.; DANTAS, L. H. N.; SANTOS, R. B.; PINHEIRO, D. M.; ALBUQUERQUE, Á. A. Eugenol, salt and

plaster in the transport of tambaqui in closed systems. **Pubvet**, v. 5, p. 1058-1064, 2011.

BAI, C.; WANG, Z.; YU, J.; WANG, J.; QIU, L.; CHAI, Y.; LIAO, T. Effects of transport densities on the physiological and biochemical characteristics of sturgeon (*Acipenser baerii*♀× *A. schrenckii*♂). **Aquaculture**, v. 586, p. 740832, 2024.

BARTON, B. A. Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. **Integrative and Comparative Biology**, v. 42, n. 3, p. 517-525, 2002.

BOAVENTURA, T. P. *et al.* The use of *Ocimum gratissimum* L. essential oil during the transport of *Lophiosilurus alexandri*: Water quality, hematology, blood biochemistry and oxidative stress. **Aquaculture**, v. 531, p. 735964, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735964>. Acesso em: 21 mar. 2025.

BOAVENTURA, T. P.; SOUZA, C. F.; FERREIRA, A. L.; FAVERO, G. C.; BALDISSERA, M. D.; HEINZMANN, B. M.; LUZ, R. K. Use of the essential oil of *Thymus vulgaris* (thyme) and its nanoemulsion as sedatives during tambaqui (*Colossoma macropomum*) transport: water quality, survival and physiology. **Aquaculture International**, v. 33, n. 2, p. 150, 2025.

BRANDÃO, F. R.; DUNCAN, W. P.; FARIAS, C. F. S.; SOUZA, D. C. M.; OLIVEIRA, M. I. B.; ROCHA, M. J. S.; CHAGAS, E. C. Essential oils of *Lippia sidoides* and *Mentha piperita* as reducers of stress during the transport of *Colossoma macropomum*. **Aquaculture**, v. 560, p. 738515, 2022.

CUNHA, F. E. A.; ROSA, I. L. Anaesthetic effects of clove oil on seven species of tropical reef teleosts. **Journal of Fish Biology**, v. 69, n. 5, p. 1504-1512, 2006.

DARA, M.; CARBONARA, P.; LA CORTE, C.; PARRINELLO, D.; CAMMARATA, M.; PARISI, M. G. Fish welfare in aquaculture: Physiological and immunological activities for diets, social and spatial stress on Mediterranean aqua cultured species. **Fishes**, v. 8, n. 8, p. 414, 2023.

FANG, D.; MEI, J.; XIE, J.; QIU, W. The effects of transport stress (temperature and vibration) on blood biochemical parameters, oxidative stress, and gill histomorphology of pearl gentian groupers. **Fishes**, v. 8, n. 4, p. 218, 2023.

GOMES, L. D. C.; ARAUJO-LIMA, C. A. R. M.; ROUBACH, R.; URBINATI, E. C. Avaliação dos efeitos da adição de sal e da densidade no transporte de tambaqui. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 283-290, 2003.

GOMES, L. C.; GOLOMBIESKI, J. I.; CHIPPARI-GOMES, A. R.; BALDISSEROTTO, B. Effect of salt in the water for transport on survival and on Na⁺ and K⁺ body levels of silver catfish, *Rhamdia quelen*, fingerlings. **Journal of Applied Aquaculture**, v. 9, n. 4, p. 1-9, 1999.

GRESSLER, L. T.; RIFFEL, A. P. K.; PARODI, T. V.; SACCOL, E. M. H.; KOAKOSKI, G.; DA COSTA, S. T.; BALDISSEROTTO, B. Silver catfish *Rhamdia quelen* immersion anaesthesia with essential oil of *Aloysia triphylla* (L'Hérit) Britton or tricaine methanesulfonate: effect on stress response and antioxidant status. **Aquaculture research**, v. 45, n. 6, p. 1061-1072, 2014.

HARMON, T. S. Methods for reducing stressors and maintaining water quality associated with live fish transport in tanks: a review of the basics. **Reviews in Aquaculture**, v. 1, n. 1, p. 58-66, 2009.

KAMALAM, B. S.; PATIYAL, R. S.; RAJESH, M.; MIR, J. I.; SINGH, A. K. Prolonged transport of rainbow trout fingerlings in plastic bags: optimization of hauling conditions based on survival and water chemistry. **Aquaculture**, v. 480, p. 103-107, 2017.

KARIM, A.; SHAHZAD, M. M.; KAMAL, K.; KHWAJA, S.; IJAZ, A.; IMTIAZ, S. Efficacy of clove oil and rosewood oil as anesthetics on goldfish (*Carassius auratus*). **Egyptian Journal of Aquatic Research**, v. 50, n. 3, p. 408-413, 2024.

LEITE, M.; TERCYA, H.; NASCIMENTO, B. G.; RODRIGUES, J.; SANTOS, R.; COSTA, B. P. D.; SIQUEIRA-SILVA, D. H. Anesthesia or seizure-like behavior? The effects of two Amazonian plants, *Acmella oleracea* and *Piper alatabaccum* in zebrafish (*Danio rerio*). **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, p.

e266010, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejar.2024.06.001>. Acesso em: 12 mar. 2025.

LEITE, E. D. M. F.; CRUZ, R. E. A.; OLIVEIRA, M. C. A.; MARQUES, E. E. Aquicultura em reservatórios hidrelétricos no Brasil. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 22, 1624-1642, 2024.

LUZ, R. K; FAVERO, G. C. Use of salt, anesthetics, and stocking density in transport of live fish: a review. **Fishes**, v. 9, n. 7, p. 286, 2024.

MARTINS, K. V. B.; SILVA, S. B.; DA SILVA CARDOSO, A. J.; SALARO, A. L.; FERREIRA, P. D. M. F.; FREITAS, M. B.; ZUANON, J. A. S. Effectiveness and safety of clove oil and common salt in the long-term transport of *Cyprinus carpio*. **Aquaculture**, v. 583, p. 740532, 2024.

METIN, S.; DIDINEN, H.; YIGIT, N. O.; ERALP, H.; OZMEN, O.; AVSEVER, M. L. Efficacy of fennel (*Foeniculum vulgare*) and anise (*Pimpinella anisum*) essential oils as anaesthetics in common carp (*Cyprinus carpio* L. 1758). **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 50, n. 3, p. 1305-1314, 2024.

MINAZ, M.; ER, A.; AK, K.; SERDAR, O. Unlocking the potential of nutmeg oil: A sustainable alternative for rainbow trout anesthesia in aquaculture. **Aquaculture Reports**, v. 42, p. 102773, 2025.

MOREIRA, A. G. L.; FARIAS, W. R. L. Uso do óleo de cravo na simulação de transporte de juvenis de tilápia do Nilo. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 3, 2015.

MOREIRA, A. P.; OLIVEIRA, F. C.; FERREIRA, A. L.; ALMEIDA, P. R.; COSTA, D. C.; CARDOSO, C. A. L.; CAMPOS, C. M. Efficacy of essential oil from ginger (*Zingiber officinale*) for anesthesia and transport sedation of pacu (*Piaractus mesopotamicus*). **Fish Physiology and Biochemistry**, v. 50, n. 3, p. 865-880, 2024.

MORENO, L. T. O aquanegócio dos pescados no Brasil e os reflexos para as comunidades pesqueiras tradicionais. **AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política**, v. 5, n. 1, 2023.

NAVARRO, R. D.; COSTA, D. C.; DE SOUZA, W.; DA SILVA, B. C.; LUZ, R. K. Long-term transportation of juvenile pacamãs *Lophiosilurus alexandri* at different densities. **Acta Scientiarum Technology**, v. 39, n. 2, p. 211-214, 2017.

OLIVEIRA, J. R.; CARMO, J. L.; OLIVEIRA, K. K. C.; SOARES, M. C. F. Sodium chloride, benzocaine and clove oil in tilapia transport water. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 7, p. 1163-1169, 2009.

OLIVEIRA, A. C. M.; FONTANA, A.; NEGRINI, T. C.; NOGUEIRA, M. N. M.; BEDRAN, T. B. L.; ANDRADE, C. R.; SPOLIDORIO, D. M. P. Use of *Melaleuca alternifolia* Cheel (Myrtaceae) oil in dentistry: perspectives on its use as alternative antimicrobial to infectious diseases of oral origin. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 13, p. 492-499, 2011.
 Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722011000400015>.
 Acesso em: 13 mar de 2025.

OLIVEIRA, G. S.; MACEDO, A. R. G.; SILVA, A. L. P.; SENA, W. L.; MENDES, M. R. F.; SILVA, O. M. C.; VIANA, J. S. Perfil da cadeia produtiva de uma piscicultura na Amazônia. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 13, p. e11876-e11876, 2024.

PRIBORSKY, J.; VELISEK, J. A review of three commonly used fish anesthetics. **Reviews in Fisheries Science & Aquaculture**, v. 26, n. 4, p. 417-442, 2018.

PURBOSARI, N.; WARSIKI, E.; SYAMSU, K.; SANTOSO, J. Natural versus synthetic anesthetic for transport of live fish: A review. **Aquaculture and Fisheries**, v. 4, n. 4, p. 129-133, 2019.

REIS, T. D. S.; ARAÚJO, D. B. D.; PAZ, C. A. D.; SANTOS, R. G.; BARBOSA, A. D. S.; SOUZA, L. V. D.; HAMOY, M. Etomidate as an anesthetic in *Colossoma macropomum*: Behavioral and electrophysiological data complement each other as a tool to assess anesthetic safety. **PloS one**, v. 19, n. 8, p. e0305093, 2024.
 Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0305093>.
 Acesso em: 10 mar. 2025.

REZENDE, F. P.; PASCOAL, L. M.; VIANNA, R. A.; LANNA, E. A. T. Sedation of Nile tilapia with essential oils: tea tree, clove, eucalyptus, and mint oils. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 479-486, 2017.

ROSS, L. G.; ROSS, B. **Anaesthetic and sedative techniques for aquatic animals**. John Wiley & Sons, 2008.

SAMPAIO, F. D.; FREIRE, C. A. An overview of stress physiology of fish transport: changes in water quality as a function of transport duration. **Fish and Fisheries**, v. 17, n. 4, p. 1055-1072, 2016.

SANTOS, E. L. R.; REZENDE, F. P.; MORON, S. E. Stress-related physiological and histological responses of tambaqui (*Colossoma macropomum*) to transportation in water with tea tree and clove essential oil anesthetics. **Aquaculture**, v. 523, p. 735164, 2020.

SILVA, A. D. R. D.; SANTOS, R. B. D.; BRUNO, A. M. D. S. S.; SOARES, E. C. Tambaqui farming in irrigation channels under different fish densities. **Acta Amazonica**, v. 43, p. 517-523, 2013.

SILVA, F. D. J. P.; SOUZA, L. S.; MELO, J. D. Water quality and resistance of fingerlings in transport in plastic packaging: *Oreochromis niloticus* and *Colosoma macropomum*. **Pubvet**, v. 16, p. 1-9, 2022.

SOUZA, C. D. F.; BALDISSERA, M. D.; BALDISSEROTTO, B.; HEINZMANN, B. M.; MARTOS-SITCHA, J. A.; MANCERA, J. M. Essential oils as stress-reducing agents for fish aquaculture: a review. **Frontiers in physiology**, v. 10, p. 785, 2019.

TORT, L. Stress and immune modulation in fish. **Developmental & Comparative Immunology**, v. 35, n. 12, p. 1366-1375, 2011.

URBINATI, E. C.; ZANUZZO, F. S.; SERRA, M.; WOLKERS, C. P. B.; SABIONI, R. E. Avanços da fisiologia do estresse e suas implicações em espécies nativas. *In*: TAVARES-DIAS, M. MARIANO, W. S. Aquicultura no Brasil: novas perspectivas, São Carlos: Editora Pedro & João, v.1, p. 381-416, 2015.

VANDERZWALMEN, M.; EATON, L.; MULLEN, C.; HENRIQUEZ, F.; CAREY, P.; SNELGROVE, D.; SLOMAN, K. A. The use of feed and water additives for live fish transport. **Reviews in Aquaculture**, v. 11, n. 1, p. 263-278, 2019.